L22DC

CAP INGELEC

DATA 4 Milan S.p.A.
Sede: Piazza E. Duse, 2
20122 Milano
data4milan@legalmail.it

Procedimento Unico D.P.R. 160/2010 art. 7_L.R. 12/2005 art. 97

Nuova costruzione di edificio produttivo ad uso Data Center via Monzoro 20007 Cornaredo MI

Relazione geologica e sismica

Documento: ES A RA 06 Relazione geologica e sismica

Data
Ottobre 2024

COMPANY WITH MANAGEMENT SYSTEM CERTIFIED BY DNV GL
= ISO 9001 =
= ISO 14001 =
= ISO 45001 =

COMMITTENTE:	PROGETTO:
DATA 4 Milan S.p.A. *Piazza E. Duse, 2* 20122 - Milano	***PROCEDIMENTO UNICO D.P.R. 160/2010 ART.7_L.R. 12/2005 ART. 97*** ***NUOVA COSTRUZIONE DI EDIFICIO PRODUTTIVO AD USO DATA CENTER*** ***VIA MONZORO*** ***20007 CORNAREDO MI***

Relazione geologica e sismica

BON.2024.CLI.127	*dicembre 2024*	*Prima emissione*	*L. Pessina* *F. Lucini*	*L. Pessina*	*P. Mauri* *F. Lucini*
COMMESSA	*DATA*	*REV*	*REDATTO*	*VERIFICATO*	*APPROVATO*

SOMMARIO

1. INTRODUZIONE 4
2. BIBLIOGRAFIA 4
3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO 4
4. UBICAZIONE DEL SITO 6
5. INTERVENTO IN PROGETTO 8
6. INQUADRAMENTO DEL SITO 9
6.1. Inquadramento geografico 9
6.2. Inquadramento geologico e geomorfologico 9
6.3. Inquadramento idrogeologico 10
6.4. Inquadramento geotecnico 13
7. INQUADRAMENTO SISMICO 14
7.1. Evoluzione normativa, pre 2003 14
7.2. La nuova normativa sismica a livello nazionale 14
7.3. Normativa sismica a livello regionale 14
7.4. Pericolosità Sismica Locale 14
8. VINCOLI AMBIENTALI E FATTIBILITÀ GEOLOGICA 16
9. INDAGINI PREGRESSE 18
10. CAMPAGNA DI INDAGINE – AGOSTO/SETTEMBRE 2024 20
10.1. Sondaggi a carotaggio continuo 21
10.1.1. Prove SPT in foro (Standard Penetration Test) 22
10.1.2. Installazione piezometro 22
10.2. Analisi di laboratorio geotecnico 22
10.3. Prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT) 23
10.4. Prova Lefranc 23
10.5. Indagini sismiche 24
10.5.1. Indagine HVSR 24
10.5.2. Prove Down Hole (DH) 24
11. ESITI DELLE INDAGINI 25
11.1. Stratigrafia del sottosuolo 25
11.2. Risultati prove SPT e SCPT 25
11.3. Esiti analisi di laboratorio geotecnico 28
11.4. Prova di permeabilità Lefranc 29

11.5. Esiti indagini sismiche 29
11.5.1. Esiti delle Indagine HVSR 29
11.5.2. Esiti delle Prove Down-Hole (DH). 29
12. MODELLO GEOLOGICO E GEOLOGICO-TECNICO DI RIFERIMENTO 31
12.1. Modello geologico 31
12.2. Modello geologico-tecnico 31
12.2.1. Determinazione dei principali parametri geotecnici 35
13. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO 37
13.1. Classe d'uso e periodo di riferimento 37
13.2. Categoria di sottosuolo 38
13.2.1. Analisi sismica di 2° livello 38
13.3. Categoria topografica 41
13.4. Parametri sismici sito specifici 42
13.5. Valutazione della sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione 42
14. CONCLUSIONI 44

ALLEGATI

ALLEGATO 1 - Allegato fotografico
ALLEGATO 2 - Stratigrafie dei sondaggi
ALLEGATO 3 - Risultati delle prove SPT
ALLEGATO 4 - Diagrammi delle prove penetrometriche
ALLEGATO 5 - Certificati laboratorio geotecnico
ALLEGATO 6 - Prova Lefranc
ALLEGATO 7 - Esito indagine HVSR
ALLEGATO 8 - Esito prova Down-Hole

1. INTRODUZIONE

Il presente elaborato costituisce la relazione geologica e geotecnica a supporto del progetto "Realizzazione nuovo data center" in Comune di Cornaredo.
Tale relazione mira a fornire una descrizione delle caratteristiche geologiche, idrogeologiche e geotecniche dell'area d'intervento. A tal fine sono state eseguite le seguenti indagini:

- perforazione n. 2 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 35m da p.c., di cui:
    - S.DC14-PZ attrezzato a piezometro a tubo aperto;
    - S.DC12-DH attrezzato per esecuzione prova Down-Hole;
- Esecuzione prove SPT in foro (Standard Penetration Test) ogni 1.5m di avanzamento tra 0.0m e 9.0m da p.c. e ogni 3.0m di avanzamento da 9.0 a 35.0m da p.c.;
- Prelievo di n. 6 campioni rimaneggiati da sottoporre alle seguenti analisi di laboratorio geotecnico:
    - analisi granulometrica;
    - determinazione peso di volume;
    - prova di taglio diretto.
- Esecuzione n. 6 prove SCPT (Standard Cone Penetration Test), realizzate mediante Penetrometro Dinamico Superpesante (DPSH), spinte fino a 20m da p.c.;
- n. 1 prova Lefranc a carico variabile;
- n. 1 prova HVSR;
- n. 1 prova Down-Hole.

2. BIBLIOGRAFIA

- Componente geologica, idrogeologica e simica del P.G.T. del Comune di Cornaredo - GEOINVEST s.r.l., giugno 2019;
- Realizzazione edificio DC11 in Comune di Settimo Milanese (MI), Via Reiss Romoli: Indagine geognostica e relazione geologico-tecnica (R1+R3) - STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI s.r.l., gennaio 2024.

3. NORMATIVA DI RIFERIMENTO

- D.G.R. X/5001 del 30/03/2016 - Approvazione delle linee di indirizzo e coordinamento per l'esercizio delle funzioni trasferite ai comuni in materia sismica;
- D.G.R. n. X/2129 del 11 luglio 2014 - Aggiornamento delle zone sismiche in Regione Lombardia (l.r. 1/2000, art. 3, c. 108, lett. d);

- D.G.R. IX/2616 del 30 novembre 2011 - Aggiornamento dei Criteri ed indirizzi per la definizione della componente geologica, idrogeologica e sismica del piano di governo del territorio;
- D.M. 17 gennaio 2018 - Aggiornamento delle Norme Tecniche per le Costruzioni.

4. UBICAZIONE DEL SITO

L'area in esame è localizzata nell'estremo settore sud-orientale del Comune di Cornaredo, in una zona a vocazione agricola ed industriale, e si estende su una superficie di circa 18.000 mq.

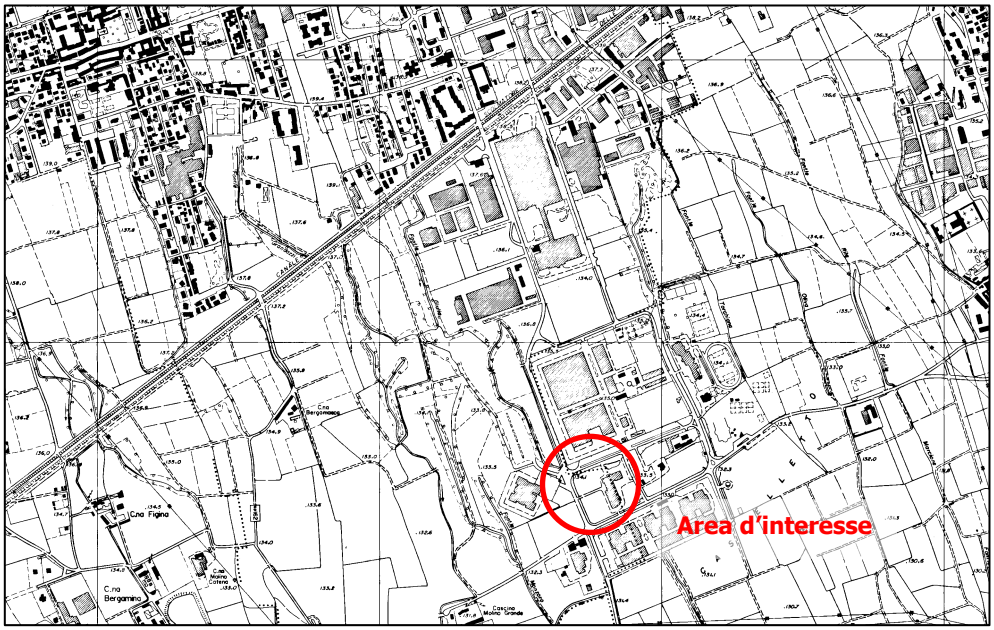


Figura 1- Individuazione del sito-CTR, sezione B6A2

Figura 2- Individuazione del sito-immagine satellitare

5. INTERVENTO IN PROGETTO

L'intervento in progetto consiste nell'edificazione di un edificio prefabbricato destinato a data center in c.a./c.a.p. avente dimensioni in pianta 72x67m e distribuito su due piani fuori terra, con interpiano di circa 7.0m.

Sono previsti pilastri in c.a.o. 60x60cm, travi a T/L rovescia di altezza 130-70cm e tegoli TT di altezza 40/100cm. È presente una soletta in c.a. collaborante di spessore 10cm che funge da diaframma orizzontale per trasferire le azioni ventose e sismiche agli elementi controventanti costituiti da setti in c.a. di spessore 60-30cm. Completa l'organismo strutturale l'impalcato metallico in copertura impostato sui pilastri in c.a. sottostanti e destinato ad accogliere le apparecchiature impiantistiche.

Le fondazioni, il cui piano di imposta è previsto a -2.0m, sono costituite da travi rettangolari 300/250x100cm in corrispondenza dei pilastri e platee di spessore 150cm in corrispondenza delle pareti in c.a. Al fine di contenere l'entità dei cedimenti, sono previsti pali CFA riduttori di cedimento Φ60cm di lunghezza 14m impostati su una maglia 3mx3m.

6. INQUADRAMENTO DEL SITO

Per quanto riguarda gli aspetti dell'inquadramento geologico, geomorfologico, idrogeologico, geotecnico ci si è basati su quanto riportato nella Variante generale al Piano di Governo del Territorio (2018) Comune di Cornaredo. Variante al PGT (art. 13, comma 13, l.r. 12/2005) – Componente Geologica.

6.1. Inquadramento geografico

Il Comune di Cornaredo è situato nella porzione centro-occidentale della Provincia di Milano, occupa una superficie di circa 11 km^2 e presenta quote comprese tra 129 e 151 m s.l.m. I comuni confinanti sono: Pregnana M.se e Rho a nord, Settimo M.se ad est, Cusago a sud e Bareggio a ovest.

6.2. Inquadramento geologico e geomorfologico

L'area di studio, inserita nel territorio della Città Metropolitana di Milano, mostra la presenza di sedimenti di origine prevalentemente fluvioglaciale; in particolare, in superficie prevalgono litotipi ghiaioso-sabbiosi che diminuiscono di granulometria portandosi da Nord verso Sud, in accordo con le teorie deposizionali tipiche dei bacini di questo tipo.

In particolare, l'area di studio si caratterizza per la presenza dei depositi fluvioglaciali ascritti all'*Unità di Minoprio* (Pleistocene medio-superiore), costituiti da ghiaia a supporto clastico e di matrice; matrice sabbiosa e sabbioso-limosa; limi ghiaiosi; sabbie, sabbie limose e limi.

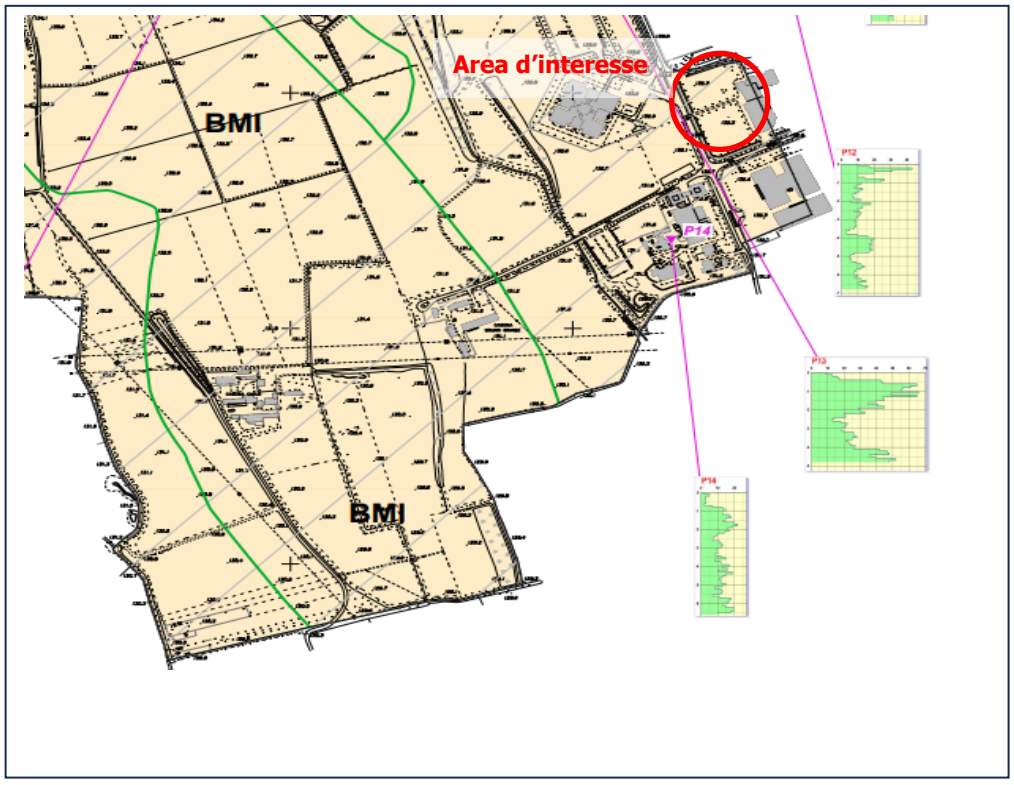


Figura 3 - Inquadramento geologico
(stralcio della Carta geologica-geomorfologica-geotecnica da PGT del Comune de Cornaredo)

Dal punto di vista geomorfologico, il territorio comunale è suddivisibile in due settori: un ambiente cosiddetto di "alta pianura", che interessa l'area nord-occidentale, e un ambiente definito come "media pianura idiomorfa" che interessa la maggior parte del territorio urbanizzato e agricolo a sud. La linea di suddivisione tra i due ambienti è circa corrispondente alla cosiddetta "linea dei fontanili", elemento caratterizzante del territorio.
In particolare, dei fontanili che interessavano il territorio di Cornaredo, e i cui cavi sono tuttora ben visibili almeno in buona parte del loro percorso, soltanto una decina sono attualmente almeno parzialmente attivi e, di questi, soltanto 5 in modo continuativo e minimamente consistente.

Ulteriori elementi geomorfologici da segnalare sono alcuni paleoalvei che attraversano il territorio comunale con andamento NNW-SSE, come l'attuale rete idrografica.

6.3. Inquadramento idrogeologico

Nel sottosuolo dell'area esaminata è possibile distinguere due unità idrogeologiche principali, in cui sono presenti acquiferi struttati dai pozzi per acqua. Dalla superficie in profondità, si distinguono due unità:

- unità ghiaioso-sabbiosa: caratterizzata da un'alternanza di ghiaie e sabbie, spesso cementate, soprattutto nella porzione meno profonda (Ceppo), e da rare intercalazioni argillose. Si tratta del cosiddetto "acquifero tradizionale", contenente la falda libera, molto produttivo per l'elevata permeabilità dei depositi che lo costituiscono, di origine alluvionale e fluvioglaciale, sedimentato in ambienti ad alta energia. La permeabilità di tale acquifero aumenta soprattutto dove il Ceppo lascia il posto alle ghiaie e alle sabbie sciolte. Lo spessore di tale litozona nel territorio esaminato assume valori medi attorno a 50 metri;
- unità argilloso-limosa: costituita da argille e limi con livelli e lenti sabbioso e/o ghiaiose. Vi possono essere presenti anche livelli torbosi, che indicano ambienti di sedimentazioni di tipo palustre, e fossili. I livelli permeabili all'interno di questa seconda unità sono localmente intercomunicanti e l'acquifero è di tipo artesiano, con produttività in genere limitata. A volte l'acquifero profondo è collegato con l'acquifero superficiale, a causa di discontinuità e variazione in spessore dei livelli argillosi di separazione, tanto da poter essere considerati nell'insieme un unico acquifero multistrato. D'altro canto, a scala locale, possono esistere all'interno dello stesso acquifero superficiale livelli di materiali fini capaci di creare suddivisioni dell'acquifero, con la formazione di falde sospese.

Nel territorio comunale la prima falda ha una direzione di flusso NNO-SSE, con gradiente prossimo al 3‰. La soggiacenza della falda in corrispondenza dell'area di odierno interesse risulta compresa tra 2 e 4 m dal p.c.
A tale proposito, i dati riferiti agli anni 1981-2017 evidenziano il comportamento di fluttuazione annuale della falda, con valori di minimo che si registrano nei mesi di marzo-aprile, mentre i massimi si osservano nei mesi di settembre-ottobre. La fluttuazione media annua sull'intero territorio comunale è dell'ordine di 2/3 m circa.

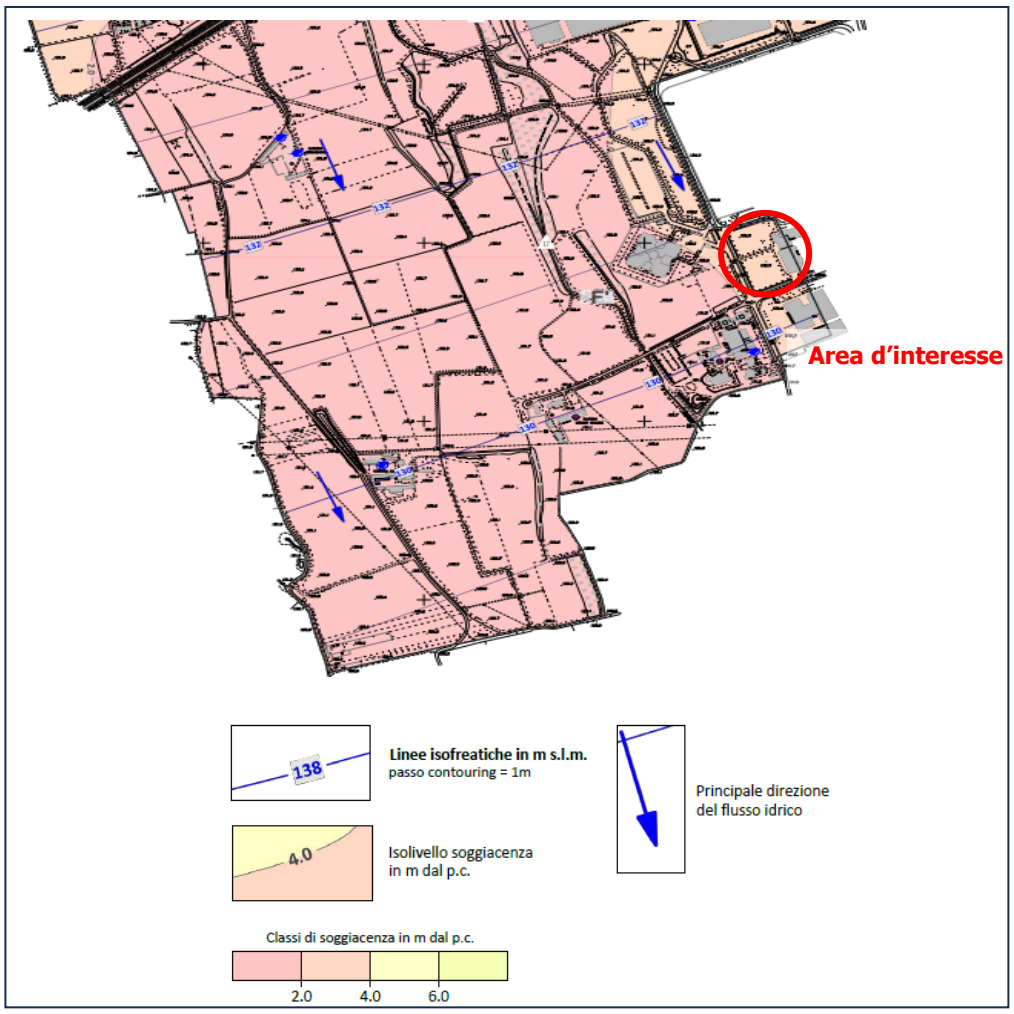


Figura 4 - Inquadramento idrogeologico
(stralcio della Carta idrogeologica del PGT del Comune di Cornaredo)

Con riferimento alle indagini ambientali condotte in sito nel mese di settembre 2024 (per i dettagli delle quali si rimanda allo specifico elaborato), si riporta a seguire la tabella con i valori di soggiacenza della falda rilevati e le quote piezometriche.

CODICE PIEZOMETRO	SOGGIACENZA [m da B.P.]	QUOTA B.P. [m s.l.m.]	QUOTA PIEZOMETRICA [m s.l.m.]
S6-Pz	4,02	132,96	128,94
S5-Pz	4,00	132,97	128,97
S2-Pz	3,33	132,59	129,26

Tabella 1 – Soggiacenze e quote piezometriche – settembre 2024

6.4. Inquadramento geotecnico

Nel comune di Cornaredo sono state realizzate prove penetrometriche dinamiche realizzate in punti significativi del territorio. Dalla loro analisi è possibile schematizzare tre orizzonti:

- Livello 1: raggiunge la profondità massima di 2.5/3.0 m. Tale livello ha comportamento granulare e presenta resistenza all'avanzamento variabile da 10 a 25 colpi/30 cm. È costituito da sabbia localmente limosa con ghiaietto e ghiaia; lo stato di addensamento è medio.
- Livello 2: si spinge fino a profondità comprese tra 3.0/5.0 m ed è caratterizzato da valori N_{SCPT} molto bassi (allineati su 5-10 colpi/30 cm). È dotato di comportamento geotecnico preminentemente coesivo e risulta costituito, in base ad alcuni dati di sondaggi adiacenti, da limo argilloso, localmente debolmente sabbioso, compatto.
- Livello 3: costituisce il livello basale del terrazzo fluvioglaciale. La resistenza penetrometrica cresce in genere con la profondità a partire da valori di 20 colpi/30 cm. Il livello è costituito da sabbia debolmente limosa o limosa, con ghiaia e ghiaietto. L'addensamento è elevato; localmente sono presenti intercalazioni a minore resistenza penetrometrica ubicate alle stesse profondità in diverse verticali di prova e quindi dotate di notevole continuità laterale; tali intercalazioni sono legate alla presenza di materiale fine ma non influiscono sostanzialmente sul comportamento del livello.

Utilizzando le correlazioni ritenute più adeguate alla natura dei terreni investigati, sono stati definiti per i livelli stratigrafici descritti i seguenti parametri geotecnici:

Livello	Nc	γ (g/cm³)	DR (%)	ϕ	cu (kg/cm²)	M (kg/cm²)	E (kg/cm²)
1	15	1.85	65	32°	-	-	250
2	5	1.75	-	(28°)	0.5-0.6	40	-
3	20	1.90	75	35*	-	-	300

Nc=valore NSPT equivalente (ottenuto dalla prova SCPT), normalizzato e ritenuto caratteristico del livello; γ=peso di volume efficace del terreno; DR%=Densità Relativa (Gibbs e Holtz); ϕ=l'angolo di attrito interno efficace (Schmertmann); cu=coesione non drenata (NAVFAC DM7); M=modulo edometrico; E= modulo elastico (Fardis e Veneziano).

7. INQUADRAMENTO SISMICO

7.1. Evoluzione normativa, pre 2003

L'individuazione delle zone sismiche, in Italia, è avvenuta agli inizi del '900 attraverso lo strumento del Regio Decreto, emanato a seguito dei terremoti distruttivi di Reggio Calabria e Messina del 28 dicembre 1908.
Dal 1927 le località colpite sono state distinte in due categorie, in relazione al loro grado di sismicità ed alla loro costituzione geologica. Pertanto, la mappa sismica in Italia non era altro che la mappa dei territori colpiti dai forti terremoti avvenuti dopo il 1908, mentre tutti i territori colpiti prima di tale data - la maggior parte delle zone sismiche d'Italia - non erano classificati come sismici e, conseguentemente, non vi era alcun obbligo di costruire nel rispetto della normativa antisismica. È quindi solamente nel 1974, attraverso la legge n. 64, è stato stabilito il quadro di riferimento per le modalità di classificazione sismica del territorio nazionale, oltre che di redazione delle norme tecniche.

7.2. La nuova normativa sismica a livello nazionale

L'Ordinanza del 20 marzo 2003, n. 3274 del Presidente del consiglio dei Ministri stabilisce i "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica", al fine di fornire una risposta immediata alla necessità di aggiornamento della classificazione sismica e delle norme antisismiche. Il territorio nazionale è stato classificato come sismico e suddiviso in 4 zone, caratterizzate da pericolosità sismica decrescente; tali zone sono individuate da 4 classi di accelerazione massima del suolo con probabilità di accadimento del 10% in 50 anni.
A ciascuna zona è attribuito un valore dell'azione sismica utile per la progettazione, espresso in termini di accelerazione massima su roccia (zona 1=0.35g, zona 2=0.25g, zona 3=0.15g, zona 4=0.05 g).
Le prime tre zone della nuova classificazione corrispondono, dal punto di vista degli adempimenti previsti dalla legge n. 64 del 1974, alle zone di sismicità alta, media e bassa, mentre per la zona 4, di nuova introduzione, viene data facoltà alle regioni di imporre l'obbligo della progettazione antisismica.

7.3. Normativa sismica a livello regionale

In ottemperanza all'Ordinanza n. 3274/2003, Regione Lombardia ha emanato la D.G.R. 7 novembre 2003, n. 7/14964 che ha preso atto della classificazione fornita in prima applicazione dalla citata Ordinanza e, successivamente, ha con D.G.R. n.10/2129 del 11 luglio 2014 ha definito la nuova classificazione sismica.

In tale contesto il Comune di Cornaredo è stato inserito in Zona Sismica 4, con accelerazione orizzontale massima prevista su suolo rigido (Vs>800 m/s) "AgMax" pari a 0.043158g.

7.4. Pericolosità Sismica Locale

Per quanto riguarda la Pericolosità Sismica Locale, l'area d'interesse è stata ascritta allo scenario Z4a:"Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvioglaciali granulari e /o coesivi", nell'ambito del quale in occasione dell'evento sismico sono da attendersi fenomeni di amplificazione litologica e geometrica.

In tale contesto, l'approfondimento sismico di 2° livello è obbligatorio solo per edifici strategici e rilevanti (elenco tipologico d.d.u.o. n. 19904/03).

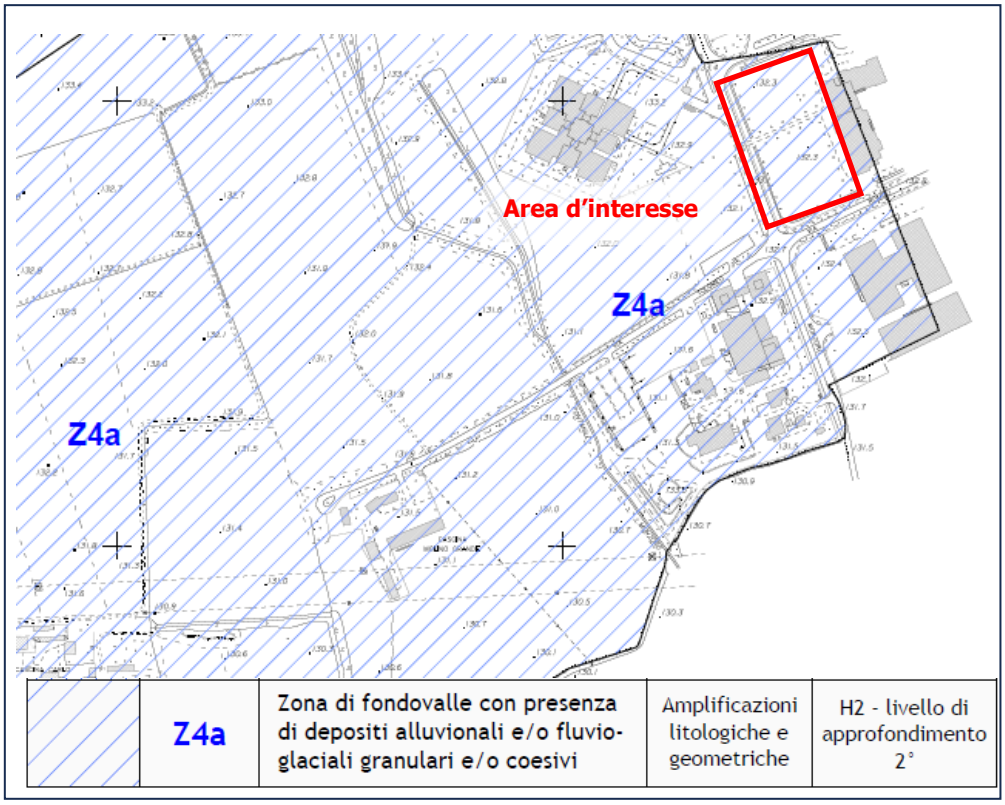

Area d'interesse
Z4a
Z4a
Z4a
Zona di fondovalle con presenza di depositi alluvionali e/o fluvio-glaciali granulari e/o coesivi
Amplificazioni litologiche e geometriche
H2 - livello di approfondimento 2°

Figura 5 - Pericolosità Sismica Locale
(stralcio della Carta della PSL del PGT del Comune di Cornaredo)

8. VINCOLI AMBIENTALI E FATTIBILITÀ GEOLOGICA

La valutazione dei vincoli ambientali è stata effettuata considerando i seguenti ambiti:

- vincoli di Polizia Idraulica;
- vincoli derivanti dal Piano di Gestione dei di Rischi di Alluvione (PGRA);
- aree di salvaguardia delle captazioni ad uso idropotabile;
- vincoli derivanti dal PTCP della Città Metropolitana di Milano.

L'area di odierno interesse risulta essere interessata unicamente dai vincoli territoriali derivanti dal PTCP della Città Metropolitana di Milano e, in particolare, da quanto prescritto nell'art. 38, comma 3, lettere b) e c):

Art. 38 - Ciclo delle acque

3. Per il ciclo delle acque, valgono i seguenti indirizzi:

b) Negli Ambiti di rigenerazione prevalente della risorsa idrica di cui alla Tavola 7, favorire l'immissione delle acque meteoriche nel reticolo idrico superficiale. Nelle eventuali trasformazioni urbanistiche e infrastrutturali è necessario valutare le alterazioni al regime delle acque sotterranee e verificare i relativi effetti anche nelle aree limitrofe, eventualmente introducendo adeguati correttivi al progetto di intervento;

c) Negli Ambiti degli acquiferi a vulnerabilità molto elevata è necessario approfondire ed evidenziare anche nella relazione geologica del PGT la tematica della permeabilità dei suoli ed introdurre eventuali limitazioni o condizionamenti alle trasformazioni stesse.

Sulla base di ciò, l'area è stata ascritta alla classe 3b di fattibilità geologica (con consistenti limitazioni). Di seguito si riporta un estratto delle Norme Geologiche di Piano:

Classe 3 - Fattibilità con consistenti limitazioni

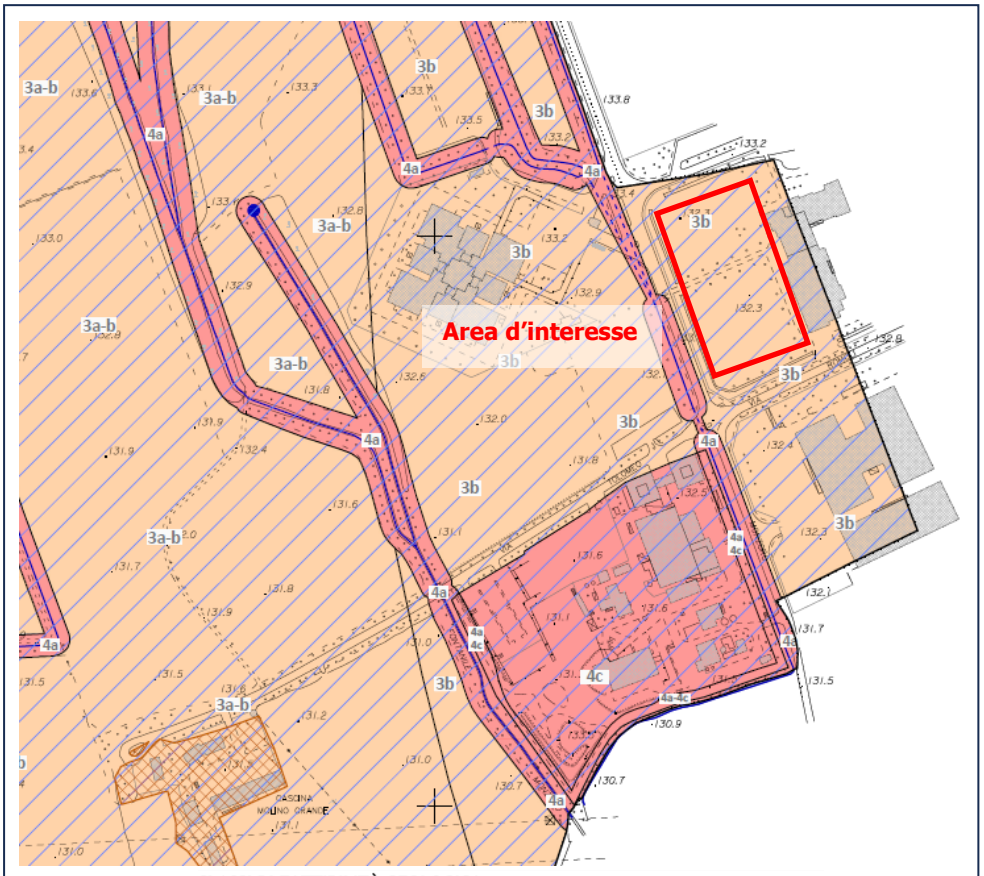
Zone nelle quali sono state riscontrate consistenti limitazioni all'utilizzo a scopi edificatori e/o alla modifica della destinazione d'uso per le condizioni di pericolosità/vulnerabilità individuate, per il superamento delle quali potrebbero rendersi necessari interventi specifici o opere di difesa.

Sottoclasse 3b-Settori: con elevata permeabilità e ridotta soggiacenza della falda con valori inferiori a 4 m dal p.c.

Per le aree ricadenti in questa classe, l'edificabilità può comunque essere generalmente attuata con l'adozione di normali accorgimenti costruttivi e/o di preventiva salvaguardia idrogeologica o geotecnica, opportunamente dimensionati sulla base delle risultanze di indagini geognostiche, idrogeologiche e geotecniche puntuali che dovranno valutare puntualmente le condizioni limitative caratteristiche di questa classe.

[…]

Le indagini geologiche e geotecniche dovranno in ogni caso consentire la definizione della locale situazione idrogeologica e dei parametri geomeccanici caratteristici, da utilizzare per il corretto dimensionamento delle strutture fondazioni, con verifiche geotecniche finalizzate al calcolo della capacità portante e dei cedimenti in relazione ai carichi di progetto e dall'analisi dei fenomeni di stabilità dei versanti.



CLASSI DI FATTIBILITÀ GEOLOGICA

Classi di Fattibilità Geologica	Principali caratteristiche	Problematiche
CLASSE 4 *Gravi limitazioni*		
Sottoclasse 4a Reticolo idrico	• Aree definite dallo Studio del Reticolo Minore	• Aree di salvaguardia idraulica R.D. 523/904
Aree con emergenza idrica	• Affioramenti idrici – Teste di fontanili	• Elevata vulnerabilità idrogeologica
Sottoclasse 4b Aree scavate e /o parzialmente riempite ed aree oggetto di escavazione	• Aree depresse e/o morfologicamente modificate	• Materiali di riempimento non definiti • Scadenti caratteristiche geotecniche
Sottoclasse 4c Settori interessati da piani di caratterizzazione e/o bonifica	• Aree oggetto di specifici interventi	• Caratterizzazione ambientale • Interventi di messa in sicurezza/bonifica/AdR
CLASSE 3 *Consistenti limitazioni*		
Sottoclasse 3a Settori con ridotta capacità portante con primo sottosuolo poco addensato fino a 3.00m dal p.c.	• Aree comprensive di una coltre superficiale di terreni limo-argillosi dell'ordine di 3.00 metri	• Terreni disomogenei con scadenti caratteristiche geotecniche
Sottoclasse 3b Aree con elevata permeabilità con ridotta soggiacenza relativa della falda	• Aree morfologicamente depresse	• Materiali con scadenti caratteristiche geotecniche • Scarsa protezione superficiale • Soggiacenza falda inferiore a 4.00m dal p.c.

Figura 6 - Fattibilità geologica
(stralcio della Carta della fattibilità geologica e delle azioni di piano del PGT)

9. INDAGINI PREGRESSE

Nel comparto adiacente a quello di odierno interesse sono state effettuate indagini geognostiche nell'ambito del progetto "Realizzazione edificio DC11 in Comune di Settimo Milanese (MI), Via Reiss Romoli" (STUDIO TECNICO GEOM. UGO CELOTTI s.r.l., gennaio 2024).

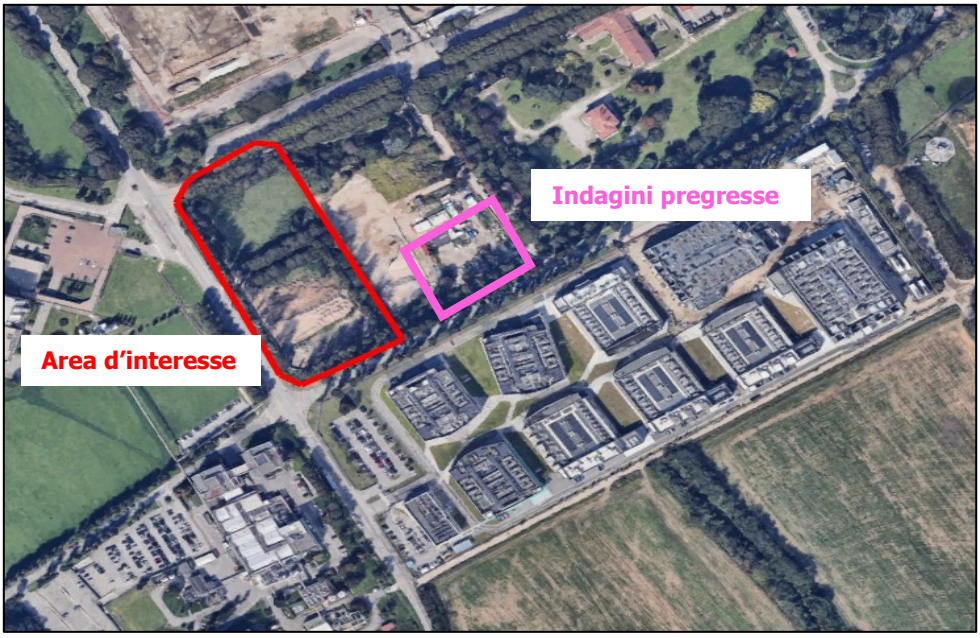


Figura 7 - Ubicazione indagini pregresse

In tale contesto furono eseguite le seguenti attività:

- n. 8 verticali penetrometriche DPSH condotte con penetrometro superpesante DPSH/B (P1÷P8) spinte fino a -15.0m circa dal p.c.;
- n. 1 sondaggio geognostico (S1-PZ) realizzato a carotaggio continuo, spinto fino a 25m da p.c. ed attrezzato a piezometro fino a -21m da p.c.

Di seguito si riassume la stratigrafia emersa durante la perforazione del sondaggio:

- da 0.0 a 2.0m: sabbia media con ghiaia ciottolosa debolmente limosa colore marrone;
- da 2.0 a 2.3m: limo con sabbia media colore grigio scuro;
- da 2.3 a 3.0m: ghiaia media con sabbia media ciottolosa;
- da 3.0 a 18.4m: orizzonti metrici di ghiaie sabbiose e/o sabbie ghiaiose più o meno grossolane di colore grigio;
- da 18.4 a 25.0m: sabbia media con ghiaia media limosa ciottolosa colore marrone chiaro.

Gli esiti delle prove DPSH evidenziano un graduale incremento della resistenza alla penetrazione con l'aumentare della profondità, ed eccezione di una riduzione localizzata nell'intervallo di profondità 3-5m da p.c.

10. CAMPAGNA DI INDAGINE – AGOSTO/SETTEMBRE 2024

Nel presente capitolo sono descritte le indagini geognostiche realizzate nell'area di interesse a cavallo dei mesi di agosto e settembre 2024 al fine di ricostruire il modello geologico e geologico-tecnico del sito.

Nel dettaglio, sono state eseguite le seguenti indagini:

- perforazione n. 2 sondaggi a carotaggio continuo spinti fino alla profondità di 35m da p.c., di cui:
    - S.DC14-PZ attrezzato a piezometro a tubo aperto;
    - S.DC12-DH attrezzato per esecuzione prova Down-Hole;
- Esecuzione prove SPT in foro (Standard Penetration Test) ogni 1.5m di avanzamento tra 0.0m e 9.0m da p.c. e ogni 3.0m di avanzamento da 9.0 a 35.0m da p.c.;
- Prelievo di n. 6 campioni rimaneggiati da sottoporre alle seguenti analisi di laboratorio geotecnico:
- analisi granulometrica;
- determinazione peso di volume;
- prova di taglio diretto.
- Esecuzione n. 6 prove SCPT (Standard Cone Penetration Test), realizzate mediante Penetrometro Dinamico Superpesante (DPSH), spinte fino a 20m da p.c.;
- n. 1 prova Lefranc a carico variabile;
- n. 1 prova HVSR;
- n. 1 prova Down-Hole.

L'ubicazione dei punti d'indagine è riportata nella figura di seguito, mentre in Allegato 1 è illustrata la relativa documentazione fotografica.

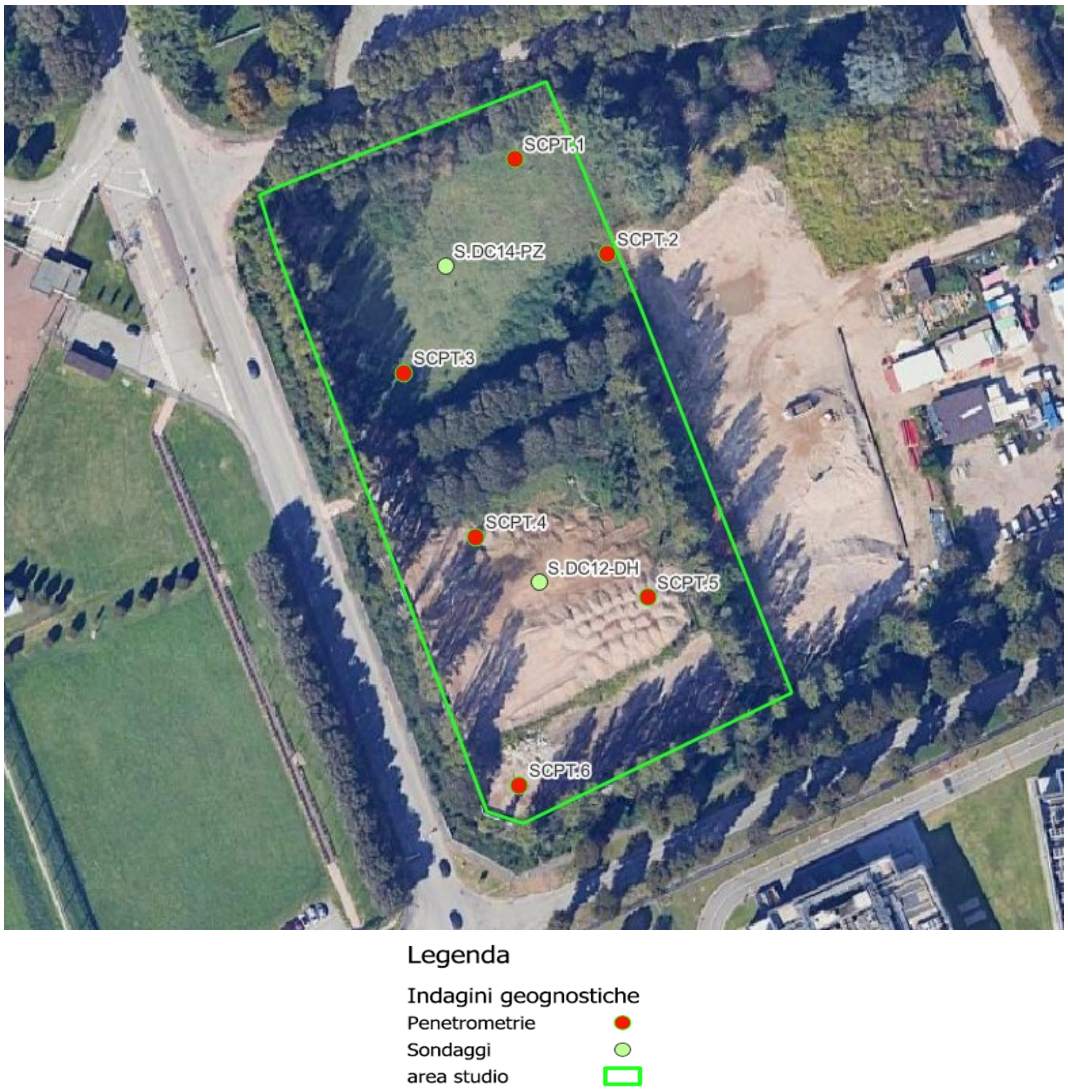


Figura 8 - Ubicazione indagini 2024

10.1. Sondaggi a carotaggio continuo

I sondaggi sono stati realizzati mediante un sistema a carotaggio continuo e sono stati spinti fino a 35m da p.c. In particolare, per la realizzazione dei sondaggi sono state seguite le seguenti fasi:

- definizione del punto de perforazione e installazione dell'attrezzatura.
- perforazione a carotaggio continuo, con l'utilizzo di un perforatore del diametro di 101 mm e rivestimento provvisorio di 127 mm.
- posizionamento del materiale estratto in casette catalogatrici identificate con il nome del sito, la data di esecuzione dell'indagine, il nome del sondaggio e la relativa profondità di perforazione.

Durante la realizzazione dei sondaggi il tecnico ha provveduto alla compilazione delle schede stratigrafiche.

10.1.1. Prove SPT in foro (Standard Penetration Test)

Durante l'esecuzione dei sondaggi si è proceduto all'esecuzione di prove SPT in foro ogni 1.5m di avanzamento nell'intervallo di profondità 0.0-9.0 m da p.c. ed ogni 3.0m di avanzamento tra 9.0 e 35.0 m da p.c., per un totale di n. 14 prove SPT per ciascun punto d'indagine.

Dette prove consistono nell'infissione di una batteria di aste a seguito della caduta libera (altezza 0.76m) di un maglio (peso 63.5 kg) ad esse collegato e nella registrazione del numero di colpi necessario all'avanzamento di tre tratti di altezza pari a 15 cm (N1-N2-N3). Il valore di N_{SPT}, utilizzato per ricavare le correlazioni con i parametri geotecnici, è quindi calcolato come la somma N2+N3.

10.1.2. Installazione piezometro

Il sondaggio S.DC14-PZ è stato attrezzato a piezometro mediante installazione di una tubazione in PVC (diametro di 3") microfessurata tra 8.0 e 35.0m da p.c.

Il foro è stato completato con la formazione di un dreno in ghiaietto siliceo in corrispondenza del tratto fenestrato; mentre è stato cementato con bentonite in corrispondenza della porzione di tubazione cieca. Al termine delle operazioni è stato installato un pozzetto protettivo.

10.2. Analisi di laboratorio geotecnico

Durante l'esecuzione dei sondaggi sono stati prelevati 6 campioni rimaneggiati da sottoporre ad analisi geotecniche di laboratorio per la determinazione delle caratteristiche fisiche (granulometria, peso volume, umidità) e meccaniche (angolo di attrito) dei terreni indagati.

Di seguito si dettagliano i campioni prelevati, elencati dal più superficiale al più profondo.

Tabella 1 - Elenco campioni

NOME CAMPIONE	PROFONDITÀ (m da p.c.)
S.DC 12 DH c.4.0-5.0	4.0- 5.0
S.DC 14 PZ c.8.0-9.0	8.0-9.0
S.DC 12 DH c.16.0-17.0	16.0-17.0
S.DC 14 PZ c.23.0-24.0	23.0-24.0
S.DC 12 DH c.27.0-28.0	27.0-28.0
S.DC 14 PZ c.31.0-32.0	31.0-32.0

In particolare, l'analisi granulometrica è stata effettuata ad umido per setacciatura e sedimentazione, mentre l'angolo di attrito è stato determinato mediante esecuzione di prove di taglio diretto, consolidate e in condizioni drenate. Tale prova viene eseguita con la scatola di Casagrande e serve per determinare la resistenza al taglio di un provino sottoposto ad un carico di consolidazione prefissato, Ripetendo il procedimento su tre provini con diverso carico di consolidazione, si individua una retta la cui intercetta con l'asse delle ordinate rappresenta la coesione ed il cui coefficiente angolare rappresenta la tangente dell'angolo di attrito interno del materiale in esame.

10.3. Prove penetrometriche dinamiche continue (SCPT)

Sono state eseguite n. 6 prove penetrometriche dinamiche SCPT spinte fino a 20 m di profondità (SCPT1÷SCPT6).

L'esecuzione prevede che all'estremità inferiore della batteria di aste sia collegata una punta conica perfettamente liscia. Il dispositivo d'infissione è costituito da un maglio del peso di 63kg che cade liberamente da un'altezza di 0.75m (peso del maglio e altezza di caduta sono parametri standardizzati). La prova consiste nel conteggio del numero di colpi necessario per infiggere la punta conica nel terreno per tratti consecutivi di 20cm.

Il numero di colpi è in stretta relazione con la resistenza all'avanzamento della punta e delle aste e, quindi, con lo stato di addensamento dei depositi attraversati. I dati di campagna vengono riportati su diagrammi penetrometrici, la cui interpretazione permette di individuare orizzonti omogenei dal punto di vista geologico-tecnico.

Il numero di colpi N(20) viene quindi moltiplicato per un fattore necessario per standardizzare i valori secondo la normativa N_{SPT} (Standard Penetration Test) per poi ricavare, tramite correlazioni note in letteratura, i principali parametri geotecnici.

10.4. Prova Lefranc

Al fine di determinare il coefficiente di permeabilità (K) dei terreni saturi costituenti il sottosuolo dell'area di interesse si è proceduto all'esecuzione di n. 1 prova di permeabilità Lefranc a carico variabile, realizzata all'interno del foro di sondaggio SDC12-DH tra 4.5 e 5.0m da p.c.

Tale prova, che consiste nella misurazione della velocità di declino del livello d'acqua dopo aver indotto una variazione istantanea del livello iniziale, è stata condotta secondo la seguente metodologia:

- raggiungimento della quota scelta per la prova;
- sollevamento della tubazione di rivestimento fino al livello superiore dell'intervallo di prova, realizzando la sezione filtrante mediante l'immissione di materiale granulare;
- induzione di una variazione istantanea di livello, mediante l'immissione di acqua in foro fino ad un livello noto (testa pozzo);

- misura dell'abbassamento del livello dell'acqua in foro a diversi istanti (durata massima 30 minuti).

10.5. Indagini sismiche

10.5.1. Indagine HVSR

L'indagine HVSR (Horizontal to Vertical Spectral Ratio) è una tecnica di sismica passiva a stazione singola, non invasiva, finalizzata alla determinazione delle caratteristiche dei depositi sedimentari superficiali e, in particolare, allo studio delle frequenze di risonanza dei terreni.

La prova consiste nella misura dei microtremori ambientali nelle tre dimensioni spaziali (x, y, z) e nell'analisi degli spettri di frequenza, restituendo un grafico del rapporto in ampiezza tra componenti orizzontali (H) e componente verticale (V). Da tale grafico viene messa in luce la frequenza fondamentale, ovvero la frequenza alla quale il moto del terreno viene amplificato per risonanza.

Lo strumento utilizzato per questo tipo d'indagine è un Tromografo Velocimetrico digitale entro cui sono presenti tre geofoni con frequenza propria pari a 4,5 hz.

10.5.2. Prove Down Hole (DH)

In corrispondenza del sondaggio S.DC12–DH è stata eseguita una prova sismica Down-Hole. Tale prova permette di determinare la velocità di propagazione delle onde di compressione (Vp) e di taglio (Vs) e di determinare quindi i parametri elastici dei terreni.

La tecnica si basa sulla misura dei tempi di percorrenza delle onde elastiche tra la sorgente sismica posta in superficie e i geofoni posizionati all'interno del foro di sondaggio. Vengono quindi posizionati dei sensori all'interno del foro di sondaggio in grado di ricevere i segnali sismici generati in superficie.

La metodologia di indagine si basa sull'acquisizione e la lettura dei tempi di propagazione delle onde sismiche generate e rilevate con intervalli di 1 metro lungo la profondità del foro.
L'interpretazione si effettua attraverso i diagrammi che riportano i tempi di tragitto sorgente-ricevitore in funzione della profondità z, in modo tale da ottenere, con operazioni di calcolo differenziate, le velocità e gli spessori degli strati indagati.

11. ESITI DELLE INDAGINI

11.1. Stratigrafia del sottosuolo

In Allegato 2 si riportano le stratigrafie registrate nel corso delle perforazioni dei n. 2 sondaggi a carotaggio continuo (S.DC12-DH – S.DC14-PZ).

Dalle stesse si evince una successione monotona di ghiaie e sabbie/ghiaie sabbiose, a tratti debolmente limose, solo localmente intercalata da livelli limosi di spessori prossimi a 0.5-1.0m.

La soggiacenza della falda, misurata nel mese di settembre 2024 nel piezometro S.DC14-PZ, risulta essere pari a 3.35m da p.c.

11.2. Risultati prove SPT e SCPT

Nella seguente tabella si schematizzano gli esiti delle prove SPT realizzate nei fori di sondaggio, i cui valori sono dettagliati nell'Allegato 3. Agli stessi, per tenere conto della presenza della falda, livellata a 3.35m da p.c., è stata apportata la correzione suggerita da *Terzaghi e Peck* (1948) valida per $N_{SPT}>15$, secondo la seguente espressione:

$$N' = 15 + 0.5 \times (N_{SPT}-15)$$

Da una prima valutazione si evince la presenza di un primo orizzonte superficiale con valori generalmente compresi tra 10 e 20 e spessore massimo di 7.5m, seguito da un incremento della resistenza a penetrazione con valori che si mantengono generalmente al di sopra dei 20 colpi/piede sino alla massima profondità raggiunta.

Tabella 2 - Risultati prove SPT

Profondità (m da p.c.)	N_{SPT}		N'	
	S.DC12-DH	S.DC14-PZ	S.DC12-DH	S.DC14-PZ
1.5	13	11	13	11
3.0	44	10	29	10
4.5	51	18	33	16
6.0	26	26	20	20
7.5	51	23	33	19
9.0	59	41	37	28
12.0	52	19	33	17
15.0	24	29	19	22
18.0	51	43	33	29
21.0	21	30	18	22
24.0	48	62	31	38
27.0	42	25	28	20

Profondità (m da p.c.)	N_{SPT}		N'	
	S.DC12-DH	S.DC14-PZ	S.DC12-DH	S.DC14-PZ
30.0	57	31	36	23
33.0	31	26	23	20

In Allegato 4 si riportano i risultati delle prove SCPT. Al fine di correlare i valori di N(20) con i valori di N_{SPT} è stato applicato un fattore correttivo funzione della litologia, in questo caso posto pari a 1.5, secondo l'equazione:

$$N_{SPT} = N(20) \times FL$$

L'analisi dei risultati ha permesso di riscontrare una situazione di buona omogeneità laterale dal punto di vista geologico-tecnico, con un graduale incremento alla resistenza a penetrazione con l'aumentare della profondità.

In particolare, i valori di N_{SPT} oscillano generalmente tra 5 e 12 per i primi 3.0-3.5m da p.c., per poi subire una diminuzione sino a profondità medie di 5.0-5.5m da p.c. ($2 < N_{SPT} < 5$).
Inferiormente si registra un nuovo incremento della resistenza a penetrazione, con valori che si mantengono tra 8 e 15 colpi sino a profondità comprese tra 9 e 11 m da p.c.
Al di sotto è emersa la presenza di un'alternanza di livelli di spessore generalmente pari a 3-4m entro cui i valori oscillano tra 15-20 e 20-25, con intercalazioni di spessore 0.5-1.0m con valori di 30-35 colpi.
Nessuna delle prove ha raggiunto il valore di "rifiuto".

Rispetto a quanto riscontrato nelle prove SPT, si nota una discreta corrispondenza con i valori registrati nel punto S.DC14-PZ, mentre nel punto S.DC12-DH sono stati ottenuti valori superiori alla media, soprattutto nell'intervallo 3.0-12.0m da p.c.

Nella seguente immagine si illustra l'andamento dei valori di N_{SPT} con l'aumentare della profondità.

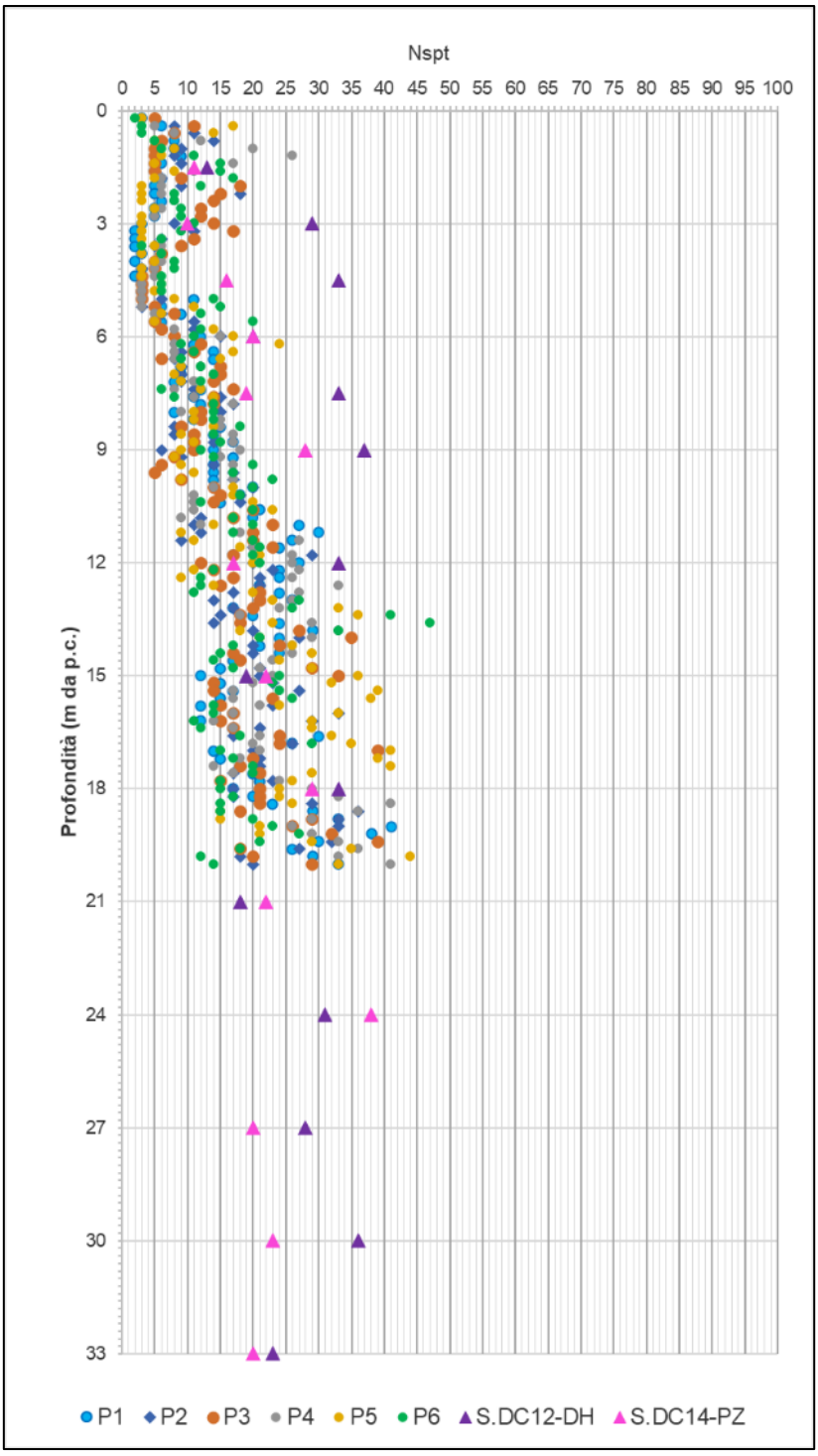


Figura 9 - Andamento valori di N_{SPT} in funzione della profondità

11.3. Esiti analisi di laboratorio geotecnico

I certificati di laboratorio sono consultabili nell'Allegato 5, mentre nelle seguenti tabelle se ne riassumono i risultati, elencati dal campione più superficiale al più profondo.

Tabella 3 - Risultati analisi granulometriche

NOME CAMPIONE	PROFONDITÀ (m da p.c.)	% GHIAIA	% SABBIA	% LIMO	% ARGILLA	% CIOTTOLI	DENOMINAZIONE CNR-UNI e AGI
S.DC 12 DH c.4.0-5.0	4.0- 5.0	66.9	19.1	2.7	0.6	10.7	Ghiaia sabbiosa con ciottoli e tracce di limo
S.DC 14 PZ c.8.0-9.0	8.0-9.0	80.6	10.9	2.4	0.5	5.6	Ghiaia sabbiosa con ciottoli e tracce di limo
S.DC 12 DH c.16.0-17.0	16.0-17.0	55.8	41.0	2.7	0.5	0.0	Ghiaia con sabbia e tracce di limo
S.DC 14 PZ c.23.0-24.0	23.0-23.4	60.1	30.3	8.8	0.8	0.0	Ghiaia con sabbia debolmente limosa
S.DC 12 DH c.27.0-28.0	27.0-28.0	57.1	39.3	3.0	0.6	0.0	Ghiaia con sabbia e tracce di limo
S.DC 14 PZ c.31,0-32,0	31,0-32,0	71,7	24,5	3,5	0,3	0,0	Ghiaia sabbiosa con tracce di limo

Tabella 4 - Risultati analisi di laboratorio

NOME CAMPIONE	PROFONDITÀ (m da p.c.)	UMIDITÀ (%)	MASSA VOLUMICA (g/cm^3)		COESIONE EFFICACE (kPa)	ANGOLO D'ATTRITO
			umida	secca		
S.DC 12 DH c.4.0-5.0	4.0- 5.0	9.01	2.00	1.83	26.7	34.9°
S.DC 14 PZ c.8.0-9.0	8.0-9.0	7.34	2.13	1.98	32.0	28.1°
S.DC 12 DH c.16.0-17.0	16.0-17.0	8.91	1.96	1.80	0.0	33.9°
S.DC 14 PZ c.23.0-24.0	23.0-23.4	13.10	2.09	1.84	19.2	37.0°
S.DC 12 DH c.27.0-28.0	27.0-28.0	10.26	2.02	1.84	37.3	30.1°
S.DC 14 PZ c.31.0-32.0	31.0-32.0	12.72	1.95	1.73	0.0	34.6°

Le analisi granulometriche confermano la presenza di una successione monotona di ghiaie e sabbie/ghiaie sabbiose a tratti debolmente limose, con peso volume compreso tra 1.7 e 2.0g/cm^3, coesione efficace oscillante tra 0 e 37kPa e angolo d'attrito tra 28° e 37°.

11.4. Prova di permeabilità Lefranc

L'interpretazione della prova Lefranc, dettagliata in Allegato 6, ha permesso di stimare la permeabilità del tratto di terreno saturo corrispondente all'intervallo 4.5-5.0m da p.c.
La formula usata per il calcolo della permeabilità nelle prove a carico variabile tiene conto del coefficiente di forma della tasca filtrante, rapportando l'area filtrante al carico idraulico, secondo la seguente equazione:

$$k\ (m/sec) = A/Cl(t2-t1) \times \ln (h1/h2)$$

dove:
A (mq) = area di base del foro di sondaggio
h1 e h2 (m) = altezza dei livelli dell'acqua nel foro rispetto al fondo foro nei tempi t1 e t2
Cl (m) = coefficiente di forma con valore di C = l per l > 2r (con r pari al raggio del foro e l corrispondente alla lunghezza del tratto investigato)

Il valore di conducibilità idraulica (k), calcolato con il metodo del tempo di riequilibrio (t_0), risulta essere pari a 7.9×10^{-5}m/s.

11.5. Esiti indagini sismiche

11.5.1. Esiti delle Indagine HVSR

L'elaborazione della prova HVSR è dettagliata in Allegato 7. Dalla stessa sono stati identificati i seguenti sismostrati:

Tabella 5 - Risultati indagine HVSR

PROFONDITÀ (m da p.c.)	Vs (m/s)
0.0-1.0	111
1.0-3.0	173
3.0-6.0	218
6.0-12.0	326
12.0-14.2	311
14.2-20.2	388
20.2-29.8	442
29.8-35.0	500

11.5.2. Esiti delle Prove Down-Hole (DH).

L'elaborazione della prova Down-Hole è dettagliata in Allegato 8. Nella seguente tabella si schematizzano i sismostrati identificati ed i parametri ad esse associati, ricavati tramite correlazioni empiriche.

A tal proposito si specifica quanto segue:

- modulo o coefficiente adimensionale di Poisson: esprime il rapporto tra le deformazioni trasversali e le deformazioni longitudinali indotte nel mezzo. Può assumere valori compresi tra 0 e 0.5;
- Moduli elastici dinamici:
    - Modulo di Young o di elasticità lineare (Ed) corrispondente al rapporto tra lo sforzo applicato ad un corpo e la variazione relativa di lunghezza;
    - Modulo di taglio o rigidità (Gd) dato dal rapporto tra sforzi di taglio e deformazioni angolari (esprime la capacità di resistenza del corpo alle variazioni di forma);
    - Modulo di incompressibilità o bulk (Kd) espresso dal rapporto tra pressioni totali e variazioni relative di volume.

Tabella 6 - Risultati indagine Down-Hole

PROFONDITÀ (m da p.c.)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	PESO VOLUME (g/cm³)	PARAMETRI DINAMICI			
				v	Gd (GPa)	Ed (GPa)	Kd (GPa)
0.0-1.0	246.7	115.6	1.7	0.359	0.023	0.062	0.073
1.0-2.0	356.7	151.7	1.75	0.390	0.040	0.112	0.169
2.0-6.0	495.4	185.3	1.75	0.419	0.060	0.171	0.349
6.0-12.0	1544.3	281.2	1.80	0.483	0.142	0.422	4.103
12.0-14.0	1464.0	251.7	1.80	0.485	0.114	0.339	3.706
14.0-19.0	1702.0	367.6	1.85	0.476	0.250	0.738	5.026
19.0-22.0	1627.2	316.6	1.85	0.480	0.185	0.549	4.651
22.0-32.0	1725.9	414.9	1.85	0.469	0.319	0.936	5.086
32.0-35.0	1674.2	388.6	1.85	0.472	0.279	0.822	4.813

Si segnala che i moduli elastici dinamici, calcolati attraverso le misure di velocità in situ, non sono direttamente confrontabili con i valori ottenuti in laboratorio (moduli elastici statici) sia a causa del tipo, grandezza e modalità di sollecitazione, sia perché le sollecitazioni sismiche rientrano nei campi di deformazione elastica e non plastica. In generale, i moduli elastici dinamici risultano essere più elevati di quelli calcolati per via statica.

12. MODELLO GEOLOGICO E GEOLOGICO-TECNICO DI RIFERIMENTO

12.1. Modello geologico

Sulla base delle informazioni bibliografiche e delle indagini svolte in sito è stato possibile ricostruire il modello geologico del sito.

Dalle stesse si evince una successione monotona di ghiaie e sabbie/ghiaie sabbiose, a tratti debolmente limose, solo localmente intercalata da livelli limosi di spessori prossimi a 0.5-1.0m, riconducibile ai depositi fluvioglaciali ascritti all'Unità di Minoprio.

La soggiacenza della falda, misurata nel mese di settembre 2024 nel piezometro S.DC14-PZ, risulta essere pari a 3.35m da p.c. Nella tabella a seguire si riportano i valori di soggiacenza della falda rilevati nel corso della campagna di indagini condotta a settembre 2024.

CODICE PIEZOMETRO	SOGGIACENZA [m da B.P.]	QUOTA B.P. [m s.l.m.]	QUOTA PIEZOMETRICA [m s.l.m.]
S6-Pz	4,02	132,96	128,94
S5-Pz	4,00	132,97	128,97
S2-Pz	3,33	132,59	129,26

Tabella 2 – Soggiacenze e quote piezometriche – settembre 2024

Il valore di conducibilità idraulica (k) del terreno saturo risulta essere pari a 7.9×10^{-5}m/s.

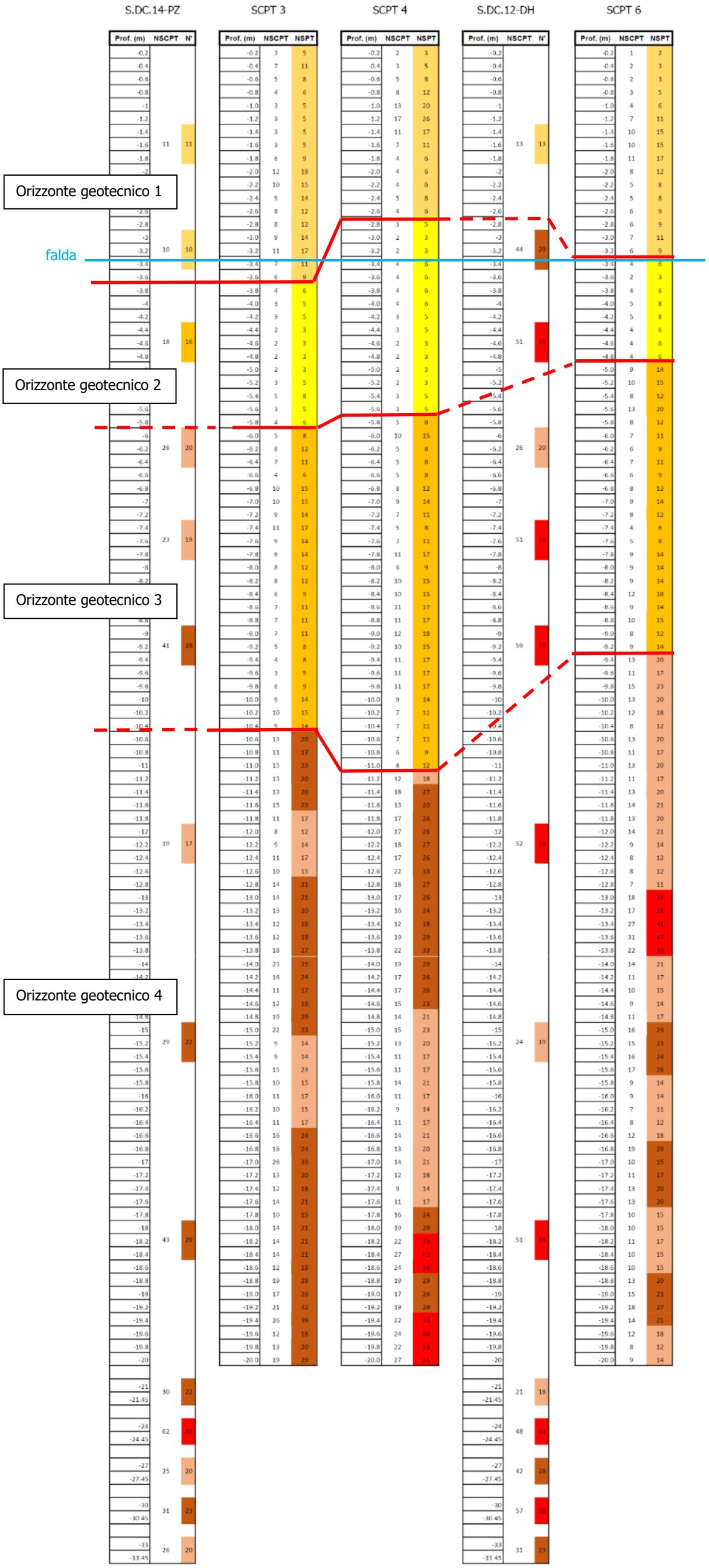
12.2. Modello geologico-tecnico

Sulla base di quanto emerso dalle indagini effettuate presso il sito è stato possibile ricostruire il modello geotecnico del sito in esame. In particolare, è emersa una situazione di buona omogeneità laterale, nell'ambito della quale sono stati identificati n. 4 orizzonti:

- Orizzonte geotecnico 1: contraddistinto da valori di N_{SPT} per lo più compresi tra 5 e 12 e rinvenuto sino a profondità variabili tra 1.8 (P5) e 3.6m da p.c. (P3).
- Orizzonte geotecnico 2: contraddistinto da valori oscillanti tra 2 e 5 e rinvenuto sino a profondità comprese tra 4.8m (P1, P5, P6) a 5.8m (P3);
- Orizzonte geotecnico 3: contraddistinto da valori di N_{SPT} generalmente oscillanti tra 8 e 15, rinvenuto sino ad una profondità variabile da 9.2m (P6) a 11.0m (P4);
- Orizzonte geotecnico 4: costituito da alternanze di livelli di spessore generalmente pari a 3-4m entro cui i valori oscillano tra 15-20 e 20-25, con intercalazioni di spessore 0.5-1.0m con valori di 30-35 colpi.

Si specifica che i suddetti orizzonti sono stati identificati essenzialmente sulla base degli esiti delle prove SCPT, più conservativi e ritenuti più rappresentativi.

Di seguito si riportano due sezioni geotecniche schematiche con l'individuazione degli orizzonti geotecnici di cui sopra.



NSPT medio
2-5
6-12
8-15
15-20
20-30
>30

SCPT 1

Prof. (m)	NSCPT	NSPT
-0.2	2	3
-0.4	4	6
-0.6	5	8
-0.8	5	8
-1.0	5	8
-1.2	6	9
-1.4	4	6
-1.6	3	5
-1.8	4	6
-2.0	3	5
-2.2	3	5
-2.4	4	6
-2.6	3	5
-2.8	3	5
-3.0	2	3
-3.2	1	2
-3.4	1	2
-3.6	1	2
-3.8	2	3
-4.0	1	2
-4.2	2	3
-4.4	1	2
-4.6	2	3
-4.8	2	3
-5.0	7	11
-5.2	4	6
-5.4	6	9
-5.6	4	6
-5.8	4	6
-6.0	8	12
-6.2	7	11
-6.4	9	14
-6.6	9	14
-6.8	6	9
-7.0	6	9
-7.2	5	8
-7.4	8	12
-7.6	7	11
-7.8	8	12
-8.0	5	8
-8.2	7	11
-8.4	10	15
-8.6	9	14
-8.8	11	17
-9.0	9	14
-9.2	11	17
-9.4	9	14
-9.6	9	14
-9.8	9	14
-10.0	13	20
-10.2	12	18
-10.4	10	15
-10.6	14	21
-10.8	13	20
-11.0	18	27
-11.2	20	30
-11.4	17	26
-11.6	16	24
-11.8	11	17
-12.0	18	27
-12.2	16	24
-12.4	16	24
-12.6	14	21
-12.8	16	24
-13.0	17	26
-13.2	11	17
-13.4	13	20
-13.6	16	24
-13.8	19	29
-14.0	16	24
-14.2	14	21
-14.4	16	24
-14.6	11	17
-14.8	10	15
-15.0	8	12
-15.2	10	15
-15.4	11	17
-15.6	10	15
-15.8	8	12
-16.0	11	17
-16.2	8	12
-16.4	11	17
-16.6	20	30
-16.8	17	26
-17.0	9	14
-17.2	10	15
-17.4	12	18
-17.6	13	20
-17.8	14	21
-18.0	11	17
-18.2	13	20
-18.4	15	23
-18.6	19	29
-18.8	22	33
-19.0	27	41
-19.2	25	38
-19.4	20	30
-19.6	17	26
-19.8	19	29
-20.0	22	33

SCPT 2

Prof. (m)	NSCPT	NSPT
-0.2	3	5
-0.4	5	8
-0.6	7	11
-0.8	9	14
-1.0	6	9
-1.2	5	8
-1.4	6	9
-1.6	3	5
-1.8	4	6
-2.0	6	9
-2.2	12	18
-2.4	9	14
-2.6	8	12
-2.8	8	12
-3.0	5	8
-3.2	7	11
-3.4	4	6
-3.6	3	5
-3.8	4	6
-4.0	3	5
-4.2	2	3
-4.4	2	3
-4.6	2	3
-4.8	2	3
-5.0	4	6
-5.2	2	3
-5.4	4	6
-5.6	7	11
-5.8	7	11
-6.0	10	15
-6.2	8	12
-6.4	6	9
-6.6	5	8
-6.8	6	9
-7.0	6	9
-7.2	6	9
-7.4	7	11
-7.6	10	15
-7.8	11	17
-8.0	10	15
-8.2	8	12
-8.4	5	8
-8.6	5	8
-8.8	9	14
-9.0	4	6
-9.2	6	9
-9.4	9	14
-9.6	11	17
-9.8	11	17
-10.0	13	20
-10.2	12	18
-10.4	12	18
-10.6	13	20
-10.8	8	12
-11.0	7	11
-11.2	8	12
-11.4	6	9
-11.6	13	20
-11.8	19	29
-12.0	13	20
-12.2	15	23
-12.4	14	21
-12.6	14	21
-12.8	11	17
-13.0	9	14
-13.2	11	17
-13.4	10	15
-13.6	9	14
-13.8	13	20
-14.0	18	27
-14.2	13	20
-14.4	13	20
-14.6	12	18
-14.8	14	21
-15.0	14	21
-15.2	15	23
-15.4	18	27
-15.6	15	23
-15.8	15	23
-16.0	22	33
-16.2	19	29
-16.4	14	21
-16.6	11	17
-16.8	17	26
-17.0	13	20
-17.2	14	21
-17.4	14	21
-17.6	11	17
-17.8	15	23
-18.0	11	17
-18.2	11	17
-18.4	19	29
-18.6	24	36
-18.8	22	33
-19.0	22	33
-19.2	21	32
-19.4	21	32
-19.6	18	27
-19.8	12	18
-20.0	13	20

SCPT 5

Prof. (m)	NSCPT	NSPT
-0.2	2	3
-0.4	11	17
-0.6	9	14
-0.8	3	5
-1.0	5	8
-1.2	4	6
-1.4	3	5
-1.6	5	8
-1.8	3	5
-2.0	2	3
-2.2	2	3
-2.4	2	3
-2.6	3	5
-2.8	2	3
-3.0	2	3
-3.2	2	3
-3.4	2	3
-3.6	3	5
-3.8	2	3
-4.0	3	5
-4.2	2	3
-4.4	2	3
-4.6	4	6
-4.8	3	5
-5.0	5	8
-5.2	7	11
-5.4	4	6
-5.6	3	5
-5.8	9	14
-6.0	11	17
-6.2	16	24
-6.4	11	17
-6.6	10	15
-6.8	6	9
-7.0	5	8
-7.2	6	9
-7.4	8	12
-7.6	9	14
-7.8	9	14
-8.0	7	11
-8.2	7	11
-8.4	9	14
-8.6	6	9
-8.8	7	11
-9.0	6	9
-9.2	5	8
-9.4	6	9
-9.6	7	11
-9.8	6	9
-10.0	11	17
-10.2	11	17
-10.4	13	20
-10.6	15	23
-10.8	11	17
-11.0	9	14
-11.2	6	9
-11.4	7	11
-11.6	12	18
-11.8	14	21
-12.0	13	20
-12.2	7	11
-12.4	6	9
-12.6	9	14
-12.8	13	20
-13.0	15	23
-13.2	22	33
-13.4	24	36
-13.6	15	23
-13.8	12	18
-14.0	14	21
-14.2	17	26
-14.4	19	29
-14.6	16	24
-14.8	19	29
-15.0	24	36
-15.2	21	32
-15.4	26	39
-15.6	25	38
-15.8	16	24
-16.0	22	33
-16.2	19	29
-16.4	19	29
-16.6	21	32
-16.8	23	35
-17.0	27	41
-17.2	26	39
-17.4	27	41
-17.6	19	29
-17.8	17	26
-18.0	16	24
-18.2	16	24
-18.4	17	26
-18.6	10	15
-18.8	10	15
-19.0	14	21
-19.2	14	21
-19.4	19	29
-19.6	23	35
-19.8	29	44
-20.0	22	33

Orizzonte geotecnico 1

falda

Orizzonte geotecnico 2

Orizzonte geotecnico 3

Orizzonte geotecnico 4

NSPT medio

2-5

6-12

8-15

15-20

20-30

>30

12.2.1. Determinazione dei principali parametri geotecnici

L'attribuzione dei principali parametri geotecnici ai suddetti orizzonti è stata effettuata tramite l'applicazione di correlazioni esistenti in letteratura basate sui valori di N_{SPT}, validate e confrontate con gli esiti delle analisi di laboratorio sui campioni prelevati.

Si specifica che, essendo in presenza di terreni a prevalente componente ghiaiosa-sabbiosa, la stima dei parametri è stata effettuata procedendo in termini di condizioni drenate.

Peso volume (γ')

Il peso di volume del terreno è stato stimato in base alle evidenze litologiche, ai valori determinati in laboratorio e a quelli determinati dall'elaborazione dell'indagine down-hole.
In particolare, è stato attribuito un valore di 18 kN/m^3 ai primi tre orizzonti e di 19kN/m^3 al quarto. Per i terreni sottofalda è stato quindi sottratto il peso volume dell'acqua (10kN/m^3).

Coesione efficace (c')

Sebbene le analisi di laboratorio abbiano determinato valori di coesione efficace compreso tra 0 e 37kPa, in favore della sicurezza è stato considerato un valore di c' pari a 0.

Angolo di resistenza al taglia (φ')

Per la definizione di resistenza al taglio (φ) è stato utilizzato il metodo Japanese National Railway, valido per sabbie medio-grosse fino a sabbie ghiaiose:

$$\varphi\,(°) = 0.3 \times N_{SPT} + 27$$

Densità relativa (Dr)

L'andamento della densità relativa con la profondità è stato ricostruito a partire dai valori di (N1)60, in accordo alle seguenti equazioni, ricavate dall'analisi di numerose evidenze sperimentali (Skempton, 1986):

$$Dr\,(\%) = [(N1)60 / (71.7 \times (N1)60^{-0.056})]^{0.5} \quad \text{per } (N1)60 > 8$$
$$Dr\,(\%) = [(N1)60 / (296.6 \times (N1)60^{-0.728})]^{0.5} \quad \text{per } (N1)60 \leq 8$$

dove:

- $(N1)60$ = $N_{SPT} \times Cr \times Cn$
- Cr = Fattore di correzione della lunghezza delle aste
- Cn = $(Pa/Peff)0.5$ (da Skempton, 1986)

Modulo di deformazione o Modulo di Young (E')

Per la definizione del modulo di Young (E) è stato utilizzato il metodo di Webb (1970), valido per sabbie sature:

$$E'\,(Mpa) = 7.17 + N_{SPT} \times 0.478$$

Coefficiente di sottofondo o di Winkler (ksv)

Il coefficiente di sottofondo o di Winkler, definito come il cedimento di un elemento di fondazione di dimensioni unitarie caricato con una pressione unitaria, è stato stimato in base alla tabella di correlazione proposta da Terzaghi, basata anch'essa sui risultati di prove penetrometriche.

Alla luce di quanto sin qui esposto, di seguito si riporta la tabella riassuntiva del modello geotecnico del sito.

Tabella 7 - Modello geotecnico del sito

ORIZZONTE GEOTECNICO	PROFONDITÀ (m da p.c.)	N_{SPT}	γ′ (kN/m³)	c′ (kPa)	φ′ (°)	Dr (%)	E′ (MPa)	Ksv (kg/cm³)
1	0.0-3.0	5-12	18	0	29-30	20-30	9.6-13.0	1.0-2.5
2	3.0-5.0	2-5	8*	0	28-29	15-20	8.1-9.6	0.4-0.5*
3	5.0-10.0	8-15	8*	0	29-32	30-45	11.0-14.3	1.0-2.0*
4	> 10.0	15-20	9*	0	31-33	45-50	14.3-16.7	2.0-3.0*
		20-25	9*	0	33-35	50-55	16.7-19.1	3.0-4.0*

** dato relativo a terreno saturo.*

13. ANALISI DEL RISCHIO SISMICO

Dal punto di vista della normativa tecnica associata alla nuova classificazione sismica, dal 22 marzo 2018 è in vigore il *D.M. 17/01/2018 "Aggiornamento delle Norme Tecniche per le costruzioni"*, che sostituisce il precedente D.M. 14/01/2008. In particolare, il Capitolo 3 codifica i modelli per la descrizione delle azioni agenti sulle strutture, tra le quali le azioni sismiche (Capitolo 3.2), mentre la progettazione per azioni sismiche viene trattata nel Capitolo 7.
Nel dettaglio, le azioni sismiche di progetto in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" del sito e sono funzione delle caratteristiche morfologiche e stratigrafiche, le quali determinano la risposta sismica locale.

La pericolosità sismica è definita in termini di accelerazione orizzontale massima attesa *ag* in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido con superficie topografica orizzontale, nonché di ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente *Se(T)*, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza nel periodo di riferimento V_R. In alternativa è ammesso l'uso di accelerogrammi, purché correttamente commisurati alla pericolosità sismica locale dell'area della costruzione.

Le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento (PVR) nel periodo di riferimento V_R, a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- ag: accelerazione orizzontale massima al sito;
- F0: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_C*: valore di riferimento per la determinazione del periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale

13.1. Classe d'uso e periodo di riferimento

All'intervento in progetto, ricadente nella categoria *Tipo di Costruzione 2 - Costruzioni con livelli di prestazioni ordinari*, è stata attribuita una **vita nominale** (V_N) – intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata – maggiore di **50 anni.**

Con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le NTC-2018 suddividono le costruzioni in 4 classi d'uso. Il caso in esame rientra nella **classe d'uso IV** - "*Classe IV: Costruzioni con funzioni pubbliche o strategiche importanti, anche con riferimento alla gestione della protezione civile in caso di calamità. Industrie con attività particolarmente pericolose per l'ambiente. Reti viarie di tipo A o B, di cui al DM 5/11/2001, n. 6792, "Norme funzionali e geometriche per la costruzione delle strade", e di tipo C quando appartenenti ad itinerari di collegamento tra capoluoghi di provincia non altresì serviti da strade di tipo A o B. Ponti e reti ferroviarie di importanza critica per il mantenimento delle vie di comunicazione, particolarmente dopo un evento sismico. Dighe connesse al funzionamento di acquedotti e a impianti di produzione di energia elettrica*".

A tale classe è associato un coefficiente d'uso C_U di 2.0 e, pertanto, il **periodo di riferimento per l'azione sismica risulta pari a 100 anni** ($V_R = V_N \times C_u$).

13.2. Categoria di sottosuolo

La classificazione del sottosuolo si effettua in base alle condizioni stratigrafiche ed ai valori della velocità equivalente di propagazione delle onde di taglio ($V_{S,eq}$, in m/s), definita dall'espressione:

$$V_{S,eq} = \frac{H}{\sum_{i=1}^{N} \frac{h_i}{V_{S,i}}}$$

con
hi = spessore dell'i-esimo strato;
$V_{S,i}$ = velocità delle onde di taglio nell'i-esimo strato;
N = numero di strati
H = profondità del substrato, definito come quella formazione costituita da roccia o terreno molto rigido, caratterizzata da V_S non inferiore a 800 m/s.

Per le fondazioni superficiali, la profondità del substrato è riferita al piano di imposta delle stesse o, nel caso di fondazioni indirette, alla quota della testa dei pali. Per depositi con profondità H del substrato superiore a 30 m, la velocità equivalente delle onde di taglio $V_{S,eq}$ è definita dal parametro $V_{S,30}$, ottenuto ponendo H=30 m nella precedente espressione e considerando le proprietà degli strati di terreno fino a tale profondità.

In questo caso, non essendo stato raggiunto il substrato entro i primi 30 m di profondità, si è proceduto alla determinazione di Vs,eq considerando le proprietà degli strati nell'intervallo di profondità 2.0-32.0m da p.c.

La prova HVSR ha restituito un valore di 346m/s, mentre la prova Down-Hole di 306m/s. A tali valori in via preliminare corrisponde, ai sensi delle NTC 2018, una categoria di sottosuolo C: "*depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con profondità del substrato superiori a 30 m, caratterizzati da un miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di velocità equivalente compresi tra 180 m/s e 360 m/s".*

Dal momento però che il fabbricato in progetto si configura, ai sensi del D.d.u.o. 21/11/2003 n. 19904, tra gli "edifici ed opere rilevanti", la determinazione delle azioni sismiche in fase di progettazione è subordinata all'applicazione del secondo livello di approfondimento sismico (vedi cap. 7.4).

13.2.1. Analisi sismica di 2° livello

L'applicazione del 2° livello consente l'individuazione delle aree in cui la normativa nazionale risulta insufficiente a salvaguardare dagli effetti di amplificazione sismica locale.

Per il sito in esame, quindi, bisogna valutare se i fattori di amplificazione "Fa" calcolati siano superiori o meno ai "Fa" soglia comunali forniti dal Politecnico di Milano, riportati nella seguente tabella, applicando la procedura di verifica illustrata all'Allegato 5 della D.G.R. n. IX/26116 del 30/11/2011.

Tabella 8 - Valori Fa soglia per il Comune di Cornaredo

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	Fa SOGLIA	
	Intervallo 0.1-0.5s	Intervallo 0.5-1.5s
B	1.4	1.7
C	1.8	2.4
D	2.2	4.2
E	2.0	3.1

Per quanto concerne gli intervalli di periodo, si ricorda che l'intervallo tra 0.1 e 0.5s si riferisce a strutture relativamente basse, regolari e piuttosto rigide, mentre l'intervallo tra 0.5 e 1.5s si riferisce a strutture più alte e flessibili.

Per procedere con il calcolo del valore di Fa per il sito in esame si è scelto di utilizzare la scheda della litologia sabbiosa, in quanto l'andamento delle Vs non rientra nel campo di validità della scheda riferita a litologie ghiaiose.

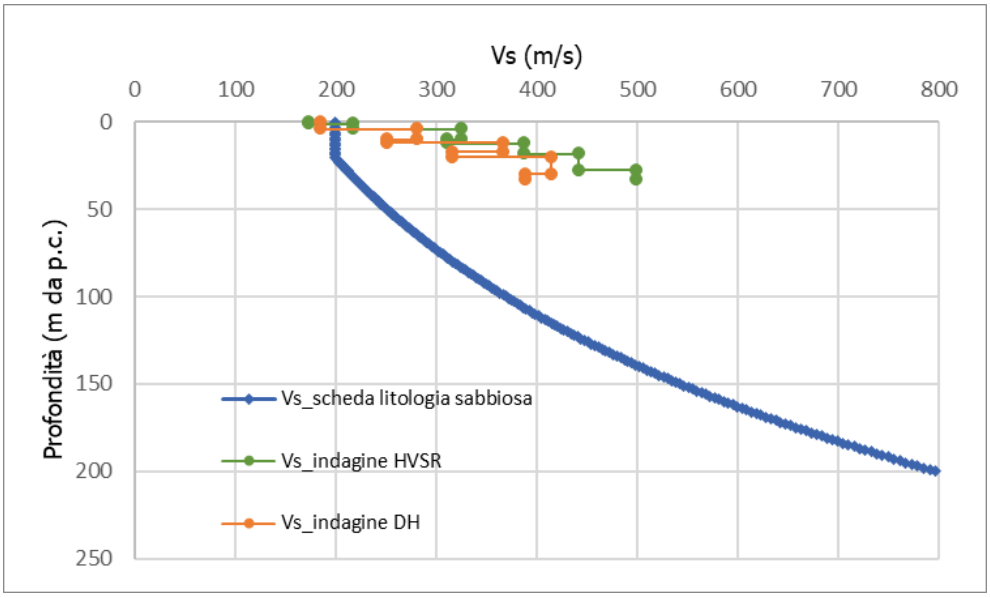


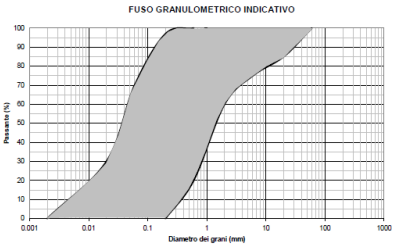
Figura 10 - Andamento dei valori di Vs con la profondità

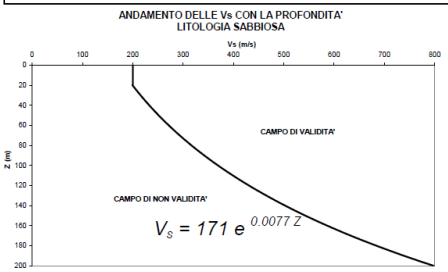
EFFETTI LITOLOGICI – SCHEDA LITOLOGIA SABBIOSA

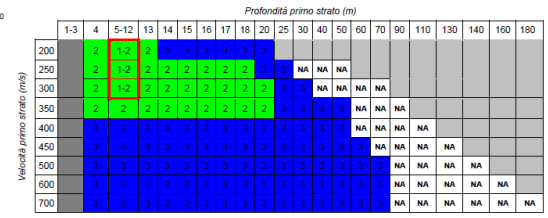
PARAMETRI INDICATIVI

GRANULOMETRIA:
Da sabbia con ghiaia e ciottoli a limo e sabbia passando per sabbie ghiaiose, sabbie limose, sabbie con limo e ghiaia, sabbie limose debolmente ghiaiose, sabbie ghiaiose debolmente limose e sabbie

NOTE:
Comportamento granulare
Struttura granulo-sostenuta
Clasti con D_{max} > 20 cm inferiori al 15%
Frazione ghiaiosa inferiore al 25%
Frazione limosa fino ad un massimo del 70%



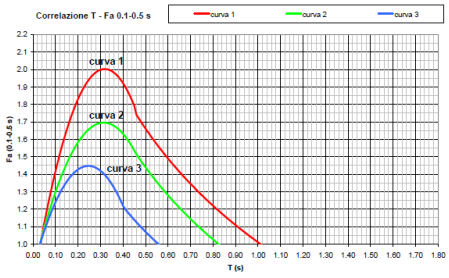


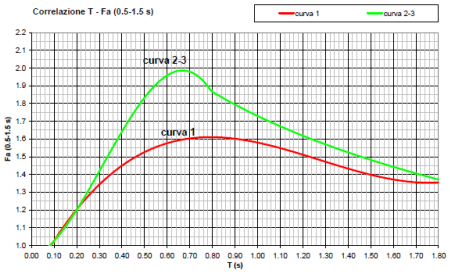


ove
la sigla NA indica *Fa* = 1

il riquadro rosso indica la condizione stratigrafica per cui è necessario utilizzare le curve 1
CONDIZIONE: strato con spessore compreso tra 5 e 12 m e velocità media Vs minore o uguale a 300 m/s poggiante su strato con velocità maggiore di 500 m/s

Vs < 300 m/s
Vs > 500 m/s
0
5 - 12 m





Curva	Tratto polinomiale	Tratto logaritmico	Tratto rettilineo
1	0.03 ≤ T ≤ 0.50	0.50 < T ≤ 1.00	T > 1.00
	$Fa_{0.1-0.5} = -12.21\ T^2 + 7.79\ T + 0.76$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.01 - 0.94\ \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
2	0.03 ≤ T ≤ 0.45	0.45 < T ≤ 0.80	T > 0.80
	$Fa_{0.1-0.5} = -8.65\ T^2 + 5.44\ T + 0.84$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.83 - 0.88\ \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$
3	0.03 ≤ T ≤ 0.40	0.50 < T ≤ 0.55	T > 0.55
	$Fa_{0.1-0.5} = -9.68\ T^2 + 4.77\ T + 0.86$	$Fa_{0.1-0.5} = 0.62 - 0.65\ \ln T$	$Fa_{0.1-0.5} = 1.00$

Curva		
1	0.08 ≤ T ≤ 1.80	
	$Fa_{0.5-1.5} = 0.57\ T^3 - 2.18\ T^2 + 2.38\ T + 0.81$	
2 3	0.08 ≤ T < 0.80	0.80 ≤ T ≤ 1.80
	$Fa_{0.5-1.5} = -6.11\ T^3 + 5.79\ T^2 + 0.44\ T + 0.93$	$Fa_{0.5-1.5} = 1.73 - 0.61\ \ln T$

Figura 11 - Scheda litologia sabbiosa

Il periodo proprio del sito T necessario per l'utilizzo della scheda di valutazione va calcolato considerando tutta la stratigrafia fino alla profondità in cui il valore della velocità Vs è uguale o superiore a 800 m/s (bedrock sismico), utilizzando la seguente equazione:

$$T = \frac{4 \times \sum_{i=1}^{n} h_i}{\left(\frac{\sum_{i=1}^{n} Vs_i \times h_i}{\sum_{i=1}^{n} h_i} \right)}$$

Nel caso in esame, non essendo stata raggiunta con le indagini eseguite la velocità di 800 m/s, si è proceduto all'estrapolazione di un opportuno andamento delle Vs con la profondità fino al raggiungimento del suddetto valore, che è stato stimato tra 54m (HVSR) e 68m (DH) dal piano fondazionale. L'applicazione della formula di cui sopra, ha restituito valori di T pari a 0.41s (HVSR) e 0.54s (DH).

Il successivo step consiste nello scegliere la curva più appropriata per la valutazione del valore di Fa in funzione della profondità e della velocità Vs dello strato superficiale. Dall'elaborazione del profilo sismico HVSR è stato individuato uno strato superficiale equivalente di spessore pari a 4.0m e Vs pari a 207m/s, mentre da quello ricavato dall'indagine Down-Hole si ottiene uno strato di 4.0m e Vs pari a 185.

In entrambi i casi la curva più appropriata risulta essere la curva 2, di conseguenza:

- intervallo 0.1-0.5s (strutture basse e rigide): l'applicazione delle formule restituisce un valore di Fa pari 1.6 (HVSR) e 1.4 (DH), inferiori al valore soglia per la categoria di sottosuolo C (1.8);
- intervallo di periodo compreso tra 0.5 e 1.5s (strutture alte e flessibili): l'applicazione delle formule restituisce un valore di Fa pari 1.7 (HVSR) e 1.6 (DH), inferiori al valore soglia per la categoria di sottosuolo C (2.4).

La normativa è da considerarsi quindi sufficiente a tenere in considerazione anche i possibili effetti di amplificazione litologica del sito e quindi si applica lo spettro previsto (Categoria C).

13.3. Categoria topografica

Per quanto concerne, invece, la categoria topografica, date le condizioni morfologiche e topografiche dell'area, al sito è stata attribuita una categoria topografica T1: *"superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media i ≤ 15°"*.

13.4. Parametri sismici sito specifici

Sulla base di quanto sin qui esposto, nelle seguenti tabelle si riportano i valori dei parametri sismici sito specifici (Coord. WGS84: lat. 45.472333; long. 9.034999) definiti in apertura di capitolo e riferiti agli stati limite di operatività (SLO), di danno (SLD), di salvaguardia della vita (SLV) e di prevenzione del collasso (SLC). Tali valori sono stati calcolati utilizzando l'applicativo *Geostru PS*, tramite il quale sono stati determinati anche il coefficiente sismico orizzontale (kh) e verticale (kv), l'accelerazione massima attesa al sito (Amax) e il coefficiente di riduzione (β).

Tabella 9 - Parametri sismici del sito

	SLO	SLD	SLV	SLC
Probabilità di superamento (%)	81	63	10	5
Tr (anni)	60	101	949	1950
ag (g)	0.023	0.028	0.052	0.061
F0	2.553	2.592	2.729	2.814
Tc*(s)	0.193	0.210	0.302	0.318

Tabella 10 - Coefficienti sismici

	SLO	SLD	SLV	SLC
	Stabilità delle fondazioni			
Ss	1.500	1.500	1.500	1.500
Cc	1.810	1.760	1.560	1.530
St	1.000	1.000	1.000	1.000
Kh	0.007	0.008	0.016	0.018
Kv	0.003	0.004	0.008	0.009
Amax (m/s^2)	0.340	0.415	0.761	0.893
Beta	0.200	0.200	0.200	0.200

13.5. Valutazione della sicurezza nei confronti del fenomeno della liquefazione

Secondo quanto contenuto nel *D.M. del 17/01/2018 - Norme tecniche per le costruzioni*, la verifica a liquefazione può essere omessa quando si manifesti almeno una delle seguenti circostanze:

1. accelerazioni massime attese al piano campagna in assenza di manufatti (condizioni di campo libero) minori di 0,1 g;
2. profondità media stagionale della falda superiore a 15 m dal piano campagna, per piano campagna sub-orizzontale e strutture con fondazioni superficiali;

3. depositi costituiti da sabbie pulite con resistenza penetrometrica normalizzata $(N_1)_{60}$>30 oppure qc_{1N}>180, dove $(N_1)_{60}$ è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche dinamiche (Standard Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa e qc_{1N} è il valore della resistenza determinata in prove penetrometriche statiche (Cone Penetration Test) normalizzata ad una tensione efficace verticale di 100 kPa;
4. distribuzione granulometrica esterna alle zone indicate nella Figura 12a) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc < 3,5 e in Figura 12b) nel caso di terreni con coefficiente di uniformità Uc > 3,5.

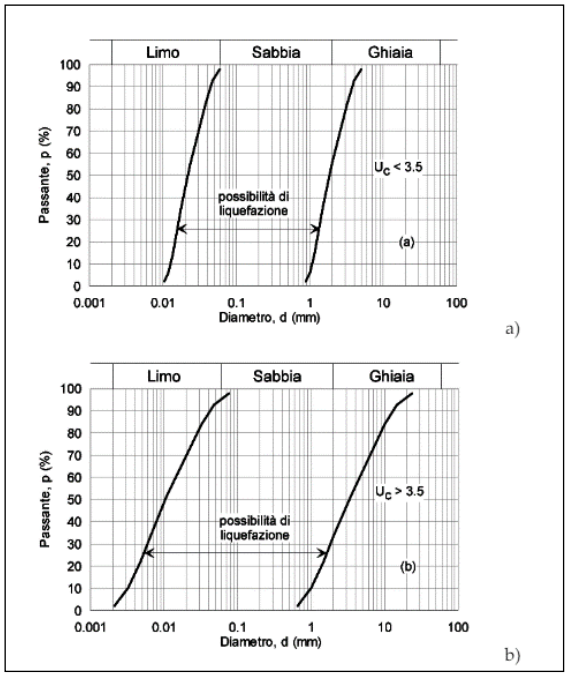


Figura 12 - Fusi granulometrici di terreni suscettibili di liquefazione (NTC 2018)

L'accelerazione massima presente all'interno del territorio comunale di Cornaredo (ag_{Max}) è pari a 0.043158g (*D.g.r. 11 luglio 2014 - n. X/2129*) che, moltiplicata per i coefficienti sito specifici riferiti alla categoria di sottosuolo (S_S = 1.500) e a quella topografica (St =1.000), dà un valore di a_{Max} pari a 0.064737g. Tale dato, essendo inferiore a 0.1 g, permette di escludere la verifica a liquefazione (vedi punto 1).

14. CONCLUSIONI

Dal punto di vista geologico e geomorfologico l'area d'indagine ricade nel settore della media pianura idiomorfa, caratterizzata dalla presenza di sedimenti di origine prevalentemente fluvioglaciale, ascritti all'*Unità di Minoprio* (Pleistocene medio-superiore) e costituiti da una successione monotona di ghiaie e sabbie/ghiaie sabbiose, a tratti debolmente limose, solo localmente intercalata da livelli limosi di spessori prossimi a 0.5-1.0m.

Per quanto riguarda gli aspetti legati all'edificabilità dell'area, si evidenzia come il sito sia soggetto unicamente a vincoli territoriali derivanti dal PTCP della Città Metropolitana di Milano e legati essenzialmente alla ridotta soggiacenza della falda e alla conseguente alta vulnerabilità dell'acquifero. Sulla base di ciò, nel PGT comunale l'area è stata ascritta alla classe 3b di fattibilità geologica (con consistenti limitazioni).

Al fine di ottemperare a quanto previsto dalle Norme Geologiche di piano, si è pertanto proceduto alla realizzazione di una campagna d'indagine finalizzata a definire la situazione idrogeologica e a determinare i parametri geomeccanici caratteristici, sulla base dei quali dimensionare opportunamente le strutture fondazioni.

In particolare, la soggiacenza della falda, misurata nel mese di settembre 2024 nel piezometro S.DC14-PZ, risulta essere pari a 3.35m da p.c.
I dati storici riferiti al periodo 1981-2017 evidenziano che l'oscillazione annuale della falda è nell'ordine dei 2-3m, con valori di minimo che si registrano nei mesi di marzo-aprile, mentre i massimi si osservano nei mesi di settembre-ottobre.
La permeabilità del terreno saturo, misurata tra 4.5 e 5.0m da p.c., risulta pari a 7.9×10^{-5}m/s.

Dal punto di vista geotecnico è emersa una situazione caratterizzata da una buona omogeneità laterale, nell'ambito della quale sono stati identificati n. 4 orizzonti:

- Orizzonte geotecnico 1: contraddistinto da valori di N_{SPT} per lo più compresi tra 5 e 12 e rinvenuto sino a profondità variabili tra 1.8 (P5) e 3.6m da p.c. (P3).
- Orizzonte geotecnico 2: contraddistinto da valori oscillanti tra 2 e 5 e rinvenuto sino a profondità comprese tra 4.8m (P1, P5, P6) a 5.8m (P3);
- Orizzonte geotecnico 3: contraddistinto da valori di N_{SPT} generalmente oscillanti tra 8 e 15, rinvenuto sino ad una profondità variabile da 9.2m (P6) a 11.0m (P4);
- Orizzonte geotecnico 4: costituito da alternanze di livelli di spessore generalmente pari a 3-4m entro cui i valori di N_{SPT} oscillano tra 15-20 e 20-25, con intercalazioni di spessore 0.5-1.0m con valori di 30-35.

Dal punto di vista sismico, al sito è stata attribuita una categoria di sottosuolo C e una categoria topografica T1.

Sulla base di quanto sin qui esposto, si attesta la compatibilità delle opere in progetto con il contesto geologico, geotecnico e idrogeologico sito-specifico, fatto salvo il corretto dimensionamento delle strutture fondazionali, costituite da travi e platee con piano d'imposta posto a -2.0m da p.c., con pali CFA riduttori di cedimento del diametro di Φ60cm impostati su una maglia 3mx3m.

ALLEGATO 1
Allegato fotografico

ALLEGATO 2
Stratigrafie dei sondaggi

ALLEGATO 3
Risultati delle prove SPT

ALLEGATO 4
Diagrammi delle prove penetrometriche

ALLEGATO 5
Certificati laboratorio geotecnico

ALLEGATO 6
Prove Lefranc

ALLEGATO 7
Esito indagine HVSR

ALLEGATO 8
Esito prova Down-Hole